

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže



**Zavedení metodiky testování
prototypů frézovacích nástrojů
pro hrubování**

Disertační práce

Studijní program: 23 01 P Strojní inženýrství
Studijní obor: 23 03 V 002 Strojírenská technologie
Školitel: prof. Dr. Ing. Josef Brychta
Doktorand: Ing. Martin Binder

Ostrava 2014

ANOTACE DISERTAČNÍ PRÁCE

BINDER, M. *Zavedení metodiky testování prototypů frézovacích nástrojů pro hrubování*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014, 141 s. Disertační práce, vedoucí: Brychta, J.

Disertační práce se zabývá problematikou metodiky testování prototypů frézovacích nástrojů pro hrubování. Na úvod je popsán současný stav řešené problematiky z hlediska testování nových nástrojů. V další části práce následuje přehled konkurenčního sortimentu nástrojů a nástrojů pro hrubování z produkce firmy Pramet Tools, s.r.o., Šumperk. Následně jsou stanoveny cíle disertační práce. Hlavní část disertační práce je zaměřena na jednotlivé fáze procesu inovace a vývoje již konkrétního typu nástroje pro frézování, oblast hrubování. Postupně jsou rozpracovány jednotlivé kroky, návrhy a postupy měření, testování a zkoušení prototypů nástrojů. Závěr disertační práce patří popisu návrhu znění směrnice jako metodického postupu pro řešení testování prototypů frézovacích nástrojů pro hrubování.

Klíčová slova: metodika, testování nástrojů, rovinné frézování, fréza, Pramet, SNMR

ANNOTATION TO DISSERTATION THESIS

BINDER, M. *Implementation of testing methods of prototypes milling cutters for roughness operations*. Ostrava: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2014, 141 p. Dissertation thesis, heads: Brychta, J.

The dissertation thesis deal with questions of testing methods of prototypes milling cutters for roughness operations. The introduction describes current state of the topic of testing new tools. In the next part followed competitive assortment of tools and current assortment of milling cutters for roughness operations from production of Pramet Tools, Ltd., Šumperk. Followed the goals of the dissertation thesis. The main part of the dissertation thesis focuses on the different stages of the innovation process and development the concrete milling cutters for roughning operation. Sequentially are elaborated each steps proposals and measurement procedures, testing of prototypes tools. At the end the dissertation thesis belong to describe on proposal of text guidelines like methods procedure for solution of testing prototypes milling cutters for roughning operations.

Keywords: methods, tool testing, face milling, surface milling, cutter, Pramet, SNMR

Prohlášení doktoranda

Prohlašuji, že jsem celou disertační práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením školitele a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....
podpis

Poděkování

Velmi rád bych poděkoval a vyslovil uznání všem, kteří mi pomáhali při vzniku této disertační práci. Děkuji prof. Dr. Ing. Josefu Brychtovi, školiteli a vedoucímu mé disertační práce a kolegům z Katedry obrábění a montáže.

Dále děkuji společnosti Pramet Tools, s.r.o. v Šumperku, která mi umožnila vypracovat disertační práci a spolupracovat při její tvorbě s panem Ing. Vladimírem Maixnerem, MBA. – Ředitelem oddělení Výzkumu a vývoje, Ing. Eduardem Nawratem – Vedoucím zkušebny obrábění a Jaroslavem Hojgrem – Technikem zkušebny, kteří mi vždy ochotně pomohli cennými radami, informacemi, znalostmi a prostředky.

Závěrem děkuji rodině za podporu a trpělivost.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
Úvod	10
1 Současný stav řešené problematiky	11
1.1 Řešení experimentálních problémů	11
1.1.1 Využívání simulačního software AdvantEdge	11
1.2 Současný stav řešené problematiky ve světě	12
2 Přehled sortimentu frézovacích nástrojů pro hrubování	14
2.1 Sortiment konkurence	14
2.2 Sortiment Pramet Tools	16
3 Cíle disertační práce	18
4 Inovační proces vývoje nového nástroje	19
4.1 Inovace sortimentu Pramet Tools	19
4.2 Návrhová řešení - design	19
4.3 Volba návrhového řešení pro prototyp	22
4.4 Výroba prototypů nástrojů	23
4.4.1 Výroba fréz	23
4.4.2 Výroba lisovacích nástrojů pro VBD	24
4.4.3 Výroba VBD z SK	25
4.4.3.1 VBD z materiálu 8230	25
5 Metodika testování prototypů fréz pro hrubování	27
5.1 Kontrola rozměrových vlastností	27
5.1.1 Měření základních rozměrů u fréz	27
5.1.1.1 Řezný průměr D	27
5.1.1.2 Výška frézy L	28
5.1.1.3 Upínací otvor d_I	29
5.1.1.4 Dotah a	30
5.1.1.5 Tvrdost tělesa frézy	30
5.1.2 Měření základních rozměrů u standardních VBD	31
5.1.2.1 Vepsaná kružnice d	31
5.1.2.2 Výška destičky s	32
5.1.2.3 Parametr m'	32
5.1.2.4 Šířka čelní fazetky t	33
5.1.2.5 Zaoblení řezné hrany R_ϵ	35
5.1.3 Měření základních rozměrů u hladících VBD	36
5.2 Funkční zkoušky obrábění prototypu	36
5.2.1 Zkoušky obrábění na zkušebně	36
5.2.1.1 Strojní vybavení zkušebny	37
5.2.1.2 Charakteristika obráběných materiálů	38
5.2.1.3 Utváření třísky v místě řezu	39
5.2.1.4 Trajektorie odchodu třísky z místa řezu	39
5.2.1.5 Charakteristika třísky	40
5.2.1.6 Vlastnosti nástroje v řezu	40
5.2.1.7 Otěr nástroje	41
5.2.1.8 Rozsah posuvů na zub f_z	41
5.2.1.9 Axiální hloubka řezu $a_{p \max}$	42
5.2.2 Zkoušky obrábění u vybraných zákazníků	42
5.3 Řezné vlastnosti prototypu	42
5.3.1 Zkoušky obrábění na zkušebně	43
5.3.1.1 Zkoušky trvanlivosti T a řezivosti K	43
5.3.1.2 Řezné síly při různých axiálních hloubkách řezu a_p	44
5.3.1.3 Požadovaný příkon stroje P	45

5.3.1.4	Odebraný objem materiálu Q	45
5.3.1.5	Drsnost obrobené plochy	46
5.3.2	Zkoušky obrábění u vybraných zákazníků	46
6	Experimentální ověření metodiky testování prototypů	47
6.1	Rozměrové vlastnosti prototypů fréz a VBD	47
6.1.1	Měření základních rozměrů u fréz	47
6.1.1.1	Řezný průměr D	48
6.1.1.2	Výška frézy L	48
6.1.1.3	Upínací otvor d_1	49
6.1.1.4	Dotah a	49
6.1.1.5	Tvrdost tělesa frézy	50
6.1.2	Měření základních rozměrů u standardních VBD	50
6.1.2.1	Vepsaná kružnice d	51
6.1.2.2	Výška destičky s	52
6.1.2.3	Parametr m'	52
6.1.2.4	Šířka čelní fazetky t	53
6.1.2.5	Zaoblení řezné hrany R_ϵ	54
6.1.3	Měření základních rozměrů u hladících VBD	55
6.1.3.1	Vepsaná kružnice d	55
6.1.3.2	Výška destičky s	56
6.1.3.3	Parametr m'	56
6.2	Funkční zkoušky obrábění prototypu	57
6.2.1	Zkoušky obrábění na zkušebně	57
6.2.1.1	Zkoušky obrábění na oceli 12 050 (C45)	58
6.2.1.2	Zkoušky obrábění na oceli 17 349 (X2 CrNiMo 17-12-2)	64
6.2.2	Zkoušky obrábění u vybraných zákazníků	72
6.2.2.1	Vítkovice Testing Center, s.r.o. Ostrava	72
6.2.2.2	ŽDAS, a.s., Žďár nad Sázavou	74
6.2.3	Vyhodnocení funkčních zkoušek obrábění	78
6.3	Řezné vlastnosti prototypu	79
6.3.1	Zkoušky obrábění na zkušebně	79
6.3.1.1	Zkoušky trvanlivosti T a řezivosti K	80
6.3.1.2	Řezné síly při různých axiálních hloubkách řezu a_p	92
6.3.1.3	Požadovaný příkon stroje P (frézou osazenou jednou VBD)	102
6.3.1.4	Odebraný objem materiálu Q	104
6.3.1.5	Drsnost obrobené plochy	108
6.3.2	Zkoušky obrábění u vybraných zákazníků	121
6.3.2.1	Škoda Power, Plzeň	122
6.3.2.2	Klima, Prachatice	124
6.3.3	Vyhodnocení řezných vlastností prototypů	127
7	Návrh směrnice (metodický pokyn)	129
8	Diskuze výsledků	130
9	Závěr	136
9.1	Přínos pro vědu	138
9.2	Přínos pro praxi	138
10	Použitá literatura	139
11	Seznam příloh	141

Seznam použitých zkratk a symbolů

A_5	tažnost	[%]
D	průměr frézy, řezný průměr	[mm]
D_{ef}	efektivní průměr nástroje	[mm]
DMR	dolní mezní rozměr	[mm]
F_n	normálová složka řezné síly	[N]
F_t	tangenciální (tečná) složka řezné síly	[N]
F_v	výsledná složka řezných sil	[N]
F_x	složka řezné síly v ose X	[N]
F_y	složka řezné síly v ose Y	[N]
F_z	složka řezné síly v ose Z	[N]
HB	tvrdost podle Brinela	[-]
HMR	horní mezní rozměr	[mm]
HRC	tvrdost podle Rockwella	[-]
HV	tvrdost podle Vickerse	[-]
ISO	mezinárodní norma	[-]
K	řezivost	[%]
KV	nárazová práce	[J]
M_k	kroucí moment	[Nm]
L	výška nástroje	[mm]
P	příkon stroje	[W]
Q	odebraný objem materiálu	[cm ³ . min ⁻¹]
Q_c	celkový odebraný objem materiálu	[cm ³]
R_a	průměrná aritmetická úchylka profilu (drsnost povrchu)	[μm]
R_ϵ	poloměr zaoblení řezné hrany	[μm]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_{p0,1}$	smluvní mez kluzu	[MPa]
SK	slinutý karbid	[-]
T	trvanlivost břitu	[min]
VB_B	opotřebení na hlavním hřbetě břitu	[mm]
VB_C	opotřebení hlavního břitu v části poloměru špičky	[mm]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
VB_V	opotřebení na vedlejším hřbetě břitu	[mm]
a	velikost dotahu	[mm]
a_e	radiální hloubka řezu	[mm]
a_p	axiální hloubka řezu	[mm]
$a_{p \max}$	maximální axiální hloubka řezu	[mm]
d	průměr vepsané kružnice	[mm]
d_1	velikost upínacího otvoru	[mm]
f_{\min}	minutový posuv	[mm . min ⁻¹]
f_{ot}	posuv na otáčku	[mm]
$f_{z \max}$	maximální posuv na zub	[mm]
$f_{z \min}$	minimální posuv na zub	[mm]
f_z	posuv na zub	[mm]
k_m'	korekční součinitel parametru m'	[mm]
l	délka profilu	[mm]
m'	parametr destičky z SK	[mm]
n	otáčky	[1 . min ⁻¹]
s	výška VBD v rovině hlavního ostří	[mm]
s_1	výška VBD v rovině vedlejšího ostří (hladící břit)	[mm]
t	šířka fazetky	[mm]
v_c	řezná rychlost	[m . min ⁻¹]

x	strana měřené destičky v ose x	[mm]
y	strana měřené destičky v ose y	[mm]
y_i	absolutní hodnota úchyly profilu	[μm]
z	počet zubů	[-]
γ_p	axiální úhel čela (nástrojový boční úhel čela)	[$^\circ$]
γ_o	ortogonální úhel čela	[$^\circ$]
γ_f	radiální úhel čela (nástrojový zadní úhel čela)	[$^\circ$]
χ_r	úhel nastavení ostří	[$^\circ$]
ΔR_ε	odchylka napojení poloměru řezné hrany R_ε	[μm]
Δt	časový interval	[min]
ΔT	rozptyl hodnot trvanlivosti	[%]
$\bar{\sigma}T$	průměrná hodnota trvanlivosti	[min]

Úvod

Strojírenství a automobilový průmysl patří mezi rozhodující odvětví naší ekonomiky. Požadavky na kvalitu a rychlý inovační cyklus nutí výrobce k vývoji a zdokonalování progresivních technologií, ke kterým patří zejména obrábění. Technologie obrábění je využívána v širokém rozsahu nejen ve strojírenství, ale i v řadě dalších průmyslových odvětví jako např. v hutní prvovýrobě, stavebním a dřevařském průmyslu.

Efektivnost technologie třískového obrábění spočívá v úsporách nástrojů, ve vysoké jakosti výrobků a ve vysoké produktivitě práce. K těmto přednostem je možno ještě připojit nízké výrobní náklady, ale pouze za předpokladu, že je docílena vysoká životnost nástrojů na obrábění a že je rovněž i nízká zmetkovitost výrobků. Ke vzniku zmetků dochází i vinou kolísání materiálových vlastností polotovarů ve značném rozmezí daném příslušnou materiálovou normou či doporučením. Nestejnorodost mechanických vlastností obrobků a polotovarů a jejich chemické složení zásadní měrou ovlivňují trvanlivost a řezivost obráběcích nástrojů, zejména vyměnitelných břitových destiček (dále jen „VBD“) u nejen soustružnických nožů, vrtáků, závitníků, ale i frézovacích nástrojů.

Inovace, zvyšování produktivity práce, snižování výrobních nákladů na jeden kus, souvisí s využíváním a nasazováním produktivních metod obrábění a produktivních nástrojů. Jak u soustružnických operací, tak u frézovacích operací sledujeme rozhodující kvalitativní vlastnosti těchto způsobů třískového obrábění, kterým jsou trvanlivost, životnost a řezivost nástroje jako celku. V současné době jsou v oblasti třískového obrábění na prvním místě nástroje s VBD ze slinutých karbidů, a dále z cermetu a kubickým nitridem boru (dále jen „KNB“). Cermet a KNB jsou však materiály, u kterých se ve velké míře projevuje handicap vysokých pořizovacích nákladů. Nejrozšířenějšími nástroji třískového obrábění patří bezesporu soustružnické nože a frézovací nástroje s VBD ze slinutého karbidu opatřenými ochrannými krycími povlaky na bázi MT-CVD, CVD a PVD. VBD mají přesné označení tvaru a rozměru, které vychází z normy ISO 513.

1 Současný stav řešené problematiky

Výzkum a vývoj nových nástrojů se vždy opírá o zkušenosti, získané z předchozích projektů a vědeckých úkolů. Výzkumné inovační projekty pracují s velkými objemy dat, návrhovými řešeními, časovými harmonogramy, vedlejšími a hlavními procesy. Návrh konstrukce a výroba prototypů nástroje včetně jeho komponent patří mezi časově nejnáročnější úseky výzkumu a vývoje nových nástrojů. Efektivita, rychlost, přesnost, a zkrácení doby výzkumu s ohledem na výrobu prototypů nástrojů a jejich vlastností patří mezi největší přínosy těchto softwarových simulačních programů.

1.1 Řešení experimentálních problémů

Experimentální problém představuje určitý problém, který lze řešit pouze experimentem (pokusem). Experiment (pokus) je možno chápat jako proces experimentálního zkoumání, který opatřuje takové informace, které by umožnily řešení experimentálního problému. Řešení experimentálního problému se rozumí plánování, provádění a vyhodnocování experimentu za účelem vyřešení daného experimentálního problému. Z pohledu metodiky je nezbytné postupovat podle logických úvah a pravidel. Základem je stanovení všech proměnných, které s řešeným problémem souvisí. Obráběný materiál – nelze jednoznačně charakterizovat určitými veličinami. Při experimentu uvažujeme obráběný materiál jako celek. Rozdíly ve vlastnostech daného materiálu lze charakterizovat např. tvrdostí. Materiál nástroje – obdobně jako obráběný materiál uvažujeme materiál nástroje jako celek. Geometrie nástroje – je dán základními geometrickými úhly (pracovní úhly). Řezné prostředí – je obtížné jednoznačně charakterizovat určitými veličinami. Jeho vlastnosti závisí např. na viskozitě, chemickém složení apod. V rámci experimentu uvažujeme jako celek. Řezné podmínky – hloubka řezu, posuv, řezná rychlost, atd. Opotřebení nástroje – opotřebení na hřbetě VB, šířka žlábků na čele KT.

1.1.1 Využívání simulačního software AdvantEdge

Software AdvantEdge 3D lze použít k testování prototypů nástrojů. Původní simulační programy typu 2D nemají již v současné době vypovídající hodnoty a byly novými programy na bázi 3D překonány. Díky simulaci řezného procesu pomocí software odpadá potřeba výroby reálného prototypu nástroje a tím mohou být i uspořeny nemalé náklady na jeho výrobu a testování. Mezi možnosti simulačního programu AdvantEdge 3D patří možnost simulace operací frézování, soustružení, vrtání, řezání a protahování, editor pro tvorbu jednoduchých geometrií VBD, import složitých geometrií pomocí *.stp formátu, aplikace knihovny řezných materiálů (SK, Keramika, KNB, aj.) s předem definovanými materiálovými vlastnostmi, aplikace knihovny povlaků na bázi TiN, TiC, TiAlN a Al₂O₃ s možností provádění změn a úprav těchto typů povlaků jak je například vrstvení povlaků, aplikace knihovny obráběných materiálů včetně mezinárodního značení, nastavení parametrů chlazení, nastavení základních řezných parametrů obrábění v_c , a_p , a_e , f_z , f_{ot} , nastavení radiálního házení nástroje při frézování. Mezi výstupní parametry získané simulačním programem patří zobrazení výsledků simulace v barevné škále pro zdůraznění odchylek hodnot jednotlivých veličin. Průběh řezného procesu je možno exportovat ve formátu *.avi a takto sledovat proces utváření třísky. Mezi základní výstupní parametry simulace patří velikosti řezných sil, teplota řezání, proces tvorby třísky, plastická deformace obráběného materiálu, tepelné ovlivnění obrobku, zbytková napětí, tlak na ostří bříty

1.2 Současný stav řešení problematiky ve světě

Problematikou testování, respektive metodik testování prototypových frézovacích nástrojů se zabývají nejen výrobci nástrojů pro oblast třískového obrábění kovů, ale rovněž i vědecká pracoviště, instituty, ústavy, katedry a výzkumná centra navázána na praxi a výrobní závody, firmy, společnosti. Z pohledu výčtu a množství informací a poznatků získaných z vědeckých databází (např. www.scopus.com) můžeme konstatovat, že oblast testování řezných nástrojů pro obrábění je velmi rozsáhlá. Jednotlivé metodiky testování jsou zaměřeny na konkrétní případy a oblasti.

Metodika testování prototypů frézovacích nástrojů pro hrubování např. neřeší oblast vibrací obráběcích strojů, které mají velký vliv na obrábění. Metodika, která řeší vibrace obráběcích strojů je založena v určení postupu k získání vlastních hodnot frekvencí pro součásti obráběcích strojů tak, aby byly vytvořeny lepší podmínky v procesu řezání na obráběcím stroji. Použitím 3D modelu konstrukce nástroje a s použitím softwaru pro navrhování společně s metodou konečných prvků (FEM) jsou následně získány přirozené frekvence. [1]

Neopomíjeným faktorem při řešení jednotlivých metodik testování, způsobů obrábění jsou rovněž i náklady. Nejdůležitějším faktorem, který ovlivňuje náklady na zpracování netvarových ploch jsou řezné nástroje. Studie řešící tuto oblast vyvinula nástroje pro výběr algoritmu pro výrobu volných (netvarových) typů povrchů s minimem nákladů a času. Vyvinutý systém v této studii je realizován s podporou programu Visual C++ a otestován na konkrétním obrábění. [2]

Postupně jsou zaváděny nové postupy a pohledy na jednotlivé problematiky. Např. predikce řezných sil je důležitá pro plánování a optimalizaci procesu obrábění s cílem snížení škod obrábění. Frézování s nástroji s VBD ve šroubovici je jedním ze specifických druhů frézování. Zkoumání vlastností frézování, tlouštěk třísek, ve vztahu k řezným silám zavádí nový analytický model spirálového frézování. Dynamické řezné síly se měří a analyzují za různých řezných podmínek a parametrů. Je třeba poznamenat, že analytické výsledky jsou v dobré shodě s experimentálními daty. [3]

Některé metodiky se opírají o rozvoj a zavádění nových vizuálních monitorovacích systémů pro obrábění. Kvalita je obvykle definována u obrábění s kvalitou povrchu obráběné součásti. Hlavní vliv pochází z vybraných řezných podmínek - parametrů. Monitorování těchto parametrů a vliv z nich může být stanovena různými metodami a systémy. Hlavním účelem vyvinutého systému je vizuálně rozpoznat případné problémy nebo události nevhodné pro zvolený proces řezání. [4] Totéž platí i pro sledování opotřebení nástroje pro dosažení spolehlivosti u samo-nastavovacích výrobních systémů. Vývoj monitorovacího systému, který dokáže detekovat zlomení nástroje v reálném čase pomocí kombinace neuronového systému rozhodování a ANFIS nástrojů. Metoda ANFIS používá vztah mezi opotřebením hřbetu nástroje a výsledné řezné síly a takto odhadne celkové opotřebení nástroje. [5] Real-time sledování stavu řezného nástroje při frézování ukazuje progresivní metodu pro optimalizaci výrobních systémů.

Metodika testování nástrojů má mnoho aspektů. Mezi jedny z nich patří i udržitelnost řezných nástrojů. Udržitelnost pramení ze spolehlivosti nástroje jako jeho zásadní vlastnosti. Společné metodiky pro posuzování snížení spolehlivosti nástroje jsou a používají normální, logaritmicko-normálního a Weibullova distribuční funkce, které nemusí být jen použitelné pro testování spolehlivosti nástroje v produkčním prostředí, kde existují výsledky testů a znamenají zlepšení udržitelnosti řezných nástrojů u moderního bezobslužného obrábění v automobilovém průmyslu. [6]

Za navazující praktické experimenty v oblasti opotřebení nástroje a jeho následných vlastností lze charakterizovat opotřebení nástroje z hlediska jeho vlivu na integritu povrchu a únavové životnosti pevných frézovaných ploch u obrábění. Mezifázové napětí mezi řezným nástrojem a obráběným materiálem vede k opotřebení nástroje, který je považován za rozhodující faktor pro kvalitu povrchu obráběných součástí. Integrita povrchu a únavová životnost obráběných dílů se zhorší, když opotřebení nástroje na hřbetě postupuje během obrábění. [7]

Experimenty byly rovněž zaznamenány v oblasti monitorování opotřebení nástroje při frézování a jejich procesů založených na kointegračním modelování. Nástroj pro sledování opotřebení hraje důležitou roli v automatických obráběcích procesech. Pro praktickou aplikaci je z tohoto důvodu nezbytná spolehlivá metoda, která byla zavedena a je založená na teorii kointegrace řezných sil získaných z procesu frézování. [8]

Vývoj v oblasti měření řezných sil pomocí dynamometrů je stále aktuální. Informace o řezných silách mohou být použity pro několik úkolů, např. pro navrhování nástrojů, optimalizaci trajektorie, sledování stavu nástrojů, testování obrobiteľnosti a mnoho dalších. Měření řezných sil se stalo rozhodující činností zaměřenou na zvyšování výkonnosti procesů. Vývoj dospěl k inovativnímu rotujícímu dynamometru pro měření řezných sil při frézování. Přístroj je schopen poskytovat nezávislé informace o triaxiální řezné síle od každého břitu s dobrou dynamickou odezvou. [9]

Snaha o zvyšování produktivity práce jde ruku v ruce s rostoucími nároky na řezný výkon nástroje. Při nákladech na prototyp nástroje cca \$10,000 jsou výhody virtuálního vývoje zřejmé. Počítačová simulace může poskytnout přesné informace o utváření třísky, řezných silách, teplotách, integritě povrchu obrobku a další důležité informace o výkonu nástroje. Nedávné pokroky v simulační technologii, ve spojení s neustále rostoucím výpočetním výkonem za nízkou cenu, se výrazně rozšířil sortiment obráběcích aplikací, které lze studovat v praxi. [10]

Z výše uvedených poznatků a příspěvků je patrné, že oblast metodik experimentálních testů je velmi široce rozšířena. Objektem zájmu především v oblasti řezných nástrojů pro třískové obrábění se jedná o analýzy kvalitativních vlastností nástrojů. Spolehlivost, trvanlivost, míru a podíl řezných sil, dosažitelné hodnoty opotřebení při obrábění nejrozumnějšího spektra materiálů, jakosti povrchů, apod. je jen dílčí výčet vlastností řezných nástrojů a materiálů.

Zavedení metodiky testování prototypů frézovacích nástrojů pro hrubování, které je předmětem této disertační práce vhodně doplní řešenou oblast.

2 Přehled sortimentu frézovacích nástrojů pro hrubování

2.1 Sortiment konkurence

Z pohledu současného sortimentu frézovacích nástrojů konkurenčních firem pro polohrubovací a hrubovací aplikace frézování, je tato oblast ze strany konkurence velice silně zastoupena. Přední výrobci frézovacích nástrojů nabízí celou škálu variantních řešení a v rozmanitých rozměrových řadách. Mezi hlavní konkurenci a výrobce v oblasti frézovacích nástrojů pro polohrubovací a hrubovací operace můžeme zařadit následující firmy:



- 1) SECO TOOLS A.B.
- 2) ISCAR
- 3) MITSUBISHI Materials
- 4) KORLOY Inc.
- 5) CERATIZIT





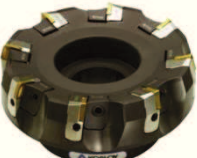

Vlastnosti každého nástroje (frézy a příslušného typu VBD) můžeme charakterizovat podle základních parametrů, kterými jsou:

- a) maximální axiální hloubka řezu $a_{p \max}$ (mm),
- b) úhel nastavení χ_r (°),
- c) axiální úhel čela γ_p (°), tzv. nástrojový boční úhel čela v rovině boční,
- d) radiální úhel čela γ_f (°), tzv. nástrojový zadní úhel čela v rovině zadní,
- e) posuv na zub f_z (mm).

Geometrické parametry frézy, kterými jsou axiální a radiální úhel čela γ_f a γ_p poskytují základní informaci o konstrukci nástroje tj. orientaci polohy lůžka, do kterého je upnuta VBD. Úhel nastavení χ_r určuje nejen polohu (úhel, odklon) hlavního ostří od vodorovné plochy obrobku, ale rovněž určuje při určitém posuvu na zub f_z a axiální hloubce řezu a_p tloušťku třísky a šířku třísky (délku zabírajícího břitu) [11]. Z širokého sortimentu frézovacích nástrojů konkurenčních firem jsou v tabulce 2.1 uvedeny frézovací nástroje jejichž společným znakem je hodnota axiální hloubky řezu $a_{p \max} < 12$ mm a velikost vepsané kružnice IC u daného typu VBD nepřesáhne hodnotu $IC = 19$ mm. V tabulce 2.1 jsou frézy seřazeny od nejnižší po nejvyšší hodnotu axiální hloubky řezu a_p .

Tab. 2.1 Sortiment hrubovacích fréz – konkurence [12,13,14,15,16]

Výrobce / Označení frézy	Zobrazení (foto)	Úhel nastavení χ_r (°)	Axiální hloubka řezu $a_{p \max}$ (mm)	Axiální úhel čela γ_p (°) / Radiální úhel čela γ_f (°)	Typ VBD (ISO)
Mitsubishi ASX445		45°	6,0 mm	+ 20° / - 13°	SE.. 13T3
Korloy FMAC(M) 3000 (4000-A)		45°	6,5 mm	neuveden	SEET 14..

Korloy EF(M) 4000		75°	8,0 mm	+ 18° / + 11°	SF.. 1203
Mitsubishi SE415		75°	8,5 mm	+ 19° / + 5°	SE.. 1203
Ceratizit A270-15		45°	9,0 mm	+ 13° / - 6°	SD.. 1505
Iscar F75		75°	9,5 mm	neuveden	SPKR 1203 SPKN 1203
Ceratizit A2000		45°	11,0 mm	+ 13° / - 12°	SC.. 1906
Mitsubishi SE515		75°	11,5 mm	+ 19° / + 5°	SE.. 1504
Korloy EPN(M) 5000		75°	12,0 mm	+ 7° / 0°	SP.. 1504
Seco 220.60-19 CM		60°	12,0 mm	+ 14° / - 11°	SP.. 1906

V tabulce 2.1 jsou uvedeny informace o vyráběných průměrech fréz D , jednotlivých počtu zubů z pro danou velikost průměru frézy D , tzv. zubatost. Rozsahy posuvů na zub f_z pro jednotlivé typy konkurenčních fréz jsou uvedeny pro dané materiálové skupiny podle ISO 513, tedy skupinu P, M a K. Z pohledu počtu zubů nabízí největší výběr frézovacích nástrojů firma Mitsubishi, typ ASX445, která nabízí vždy tři různé zubatosti u jednotlivého průměru frézy. Většina výrobců však nenabízí více variant řešení zubatosti. Rozsahy posuvů na zub f_z jsou limitovány danou geometrií VBD, velikosti fazetky, tvaru a typu utvařeče třísek na čele VBD. Ze sortimentu frézovacích nástrojů konkurenčních firem uvedených v tabulce 2.1 a tabulce 2.2 představuje tento sortiment pouze jejich malou část. Každý výrobce dnes nabízí celou škálu nástrojů a VBD přesně určených a daných pro jednotlivé frézovací aplikace.

Tab. 2.2 Počty zubů, průměry fréz a rozsahy posuvů – konkurence [12,13,14,15,16]

Výrobce - Označení frézy	Počet zubů frézy (-)					Rozsah posuvů na zub f_z (mm)		
	Průměr frézy D (mm)					P	M	K
	125	160	200	250	315			
Mitsubishi ASX445	6, 8, 12	7, 10, 16	8, 12, 20	10, 14, 24	14, 18, 28	0,05 ÷ 0,30	0,05 ÷ 0,30	0,05 ÷ 0,30
Korloy FMAC(M) 3000 (4000-A)	6	7	8	10	12	neuveden		
Korloy EF(M) 4000	6	8	10	12	16	-	-	0,05 ÷ 0,20
Mitsubishi SE415	6, 9	8, 11	10, 14	12, 18	-	0,05 ÷ 0,30	0,05 ÷ 0,30	0,05 ÷ 0,30
Ceratizit A270-15	6	7	-	-	-	0,10 ÷ 0,40	0,10 ÷ 0,40	0,10 ÷ 0,40
Iscar F75	8	10	12	-	-	0,07 ÷ 0,20	0,07 ÷ 0,20	0,07 ÷ 0,20
Ceratizit A2000	-	11	14	17	-	0,20 ÷ 0,60	0,20 ÷ 0,60	0,20 ÷ 0,60
Mitsubishi SE515	6, 9	8, 11	10, 14	12, 18	-	0,05 ÷ 0,30	0,05 ÷ 0,30	0,05 ÷ 0,30
Korloy EPN(M) 5000	8	10	12	16	20	0,05 ÷ 0,20	0,05 ÷ 0,20	0,05 ÷ 0,30
Seco 220.60-19 CM	8	10	12	16	-	0,25 ÷ 0,75	0,25 ÷ 0,75	0,25 ÷ 0,75

2.2 Sortiment Pramet Tools

Firma Pramet Tools s.r.o., Šumperk nabízí ve svém sortimentu širokou škálu frézovacích nástrojů a vyměnitelných břitových destiček (dále jen „VBD“). Celý sortiment výrobků je periodicky prezentován v jednotlivých katalozích. Sortiment frézovacích nástrojů a VBD je uveden v samostatném katalogu frézování, který je členěn podle jednotlivých skupin nástrojů na rovinné frézy, stopkové frézy, kopírovací frézy (M&D), válcové frézy, kotoučové frézy a VBD. [11]








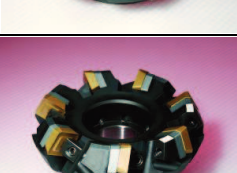
Rovinné frézování z hlediska sortimentu je v katalogu frézování rozdělen na:

- frézy do rohu (úhel nastavení $\chi_r = 90^\circ$),
- čelní frézy velmi pozitivní (úhel nastavení $\chi_r = 45^\circ$),
- čelní frézy negativně pozitivní (úhel nastavení $\chi_r = 45^\circ$),
- čelní frézy (úhel nastavení $\chi_r = 45^\circ, 75^\circ$),
- čelní frézy pozitivní (úhel nastavení $\chi_r = 75^\circ$),
- čelní frézy negativní (úhel nastavení $\chi_r = 75^\circ$),

- g) čelní frézy pro těžké hrubování (úhel nastavení $\chi_r = 60^\circ, 90^\circ$),
h) hrubovací frézy do rohu (úhel nastavení $\chi_r = 90^\circ$).

Sortiment fréz, které můžeme přiřadit do kategorie hrubovacích až polohrubovacích nástrojů je uveden v tabulce 2.3.

Tab. 2.3 Sortiment hrubovacích fréz Pramet [11]

Označení frézy (ISO)	Zobrazení (foto)	χ_r ($^\circ$)	$a_{p \max}$ (mm)	Typ VBD (ISO)
W45SE15F		45°	9,0 mm	SEER 1504AFSN SEER 1504AFEN SEEN 1504AFSN
W45SE123F		45°	6,5 mm	SEER 1203AFEN SEER 1203AFSN SEEN 1203AFFN SEEN 1203AFSN
S45SE12F		45°	6,5 mm	SEET 1204AFEN SEET 1204AFSN SEET 1204AFFN-FA SEEW 1204AFEN SEEW 1204AFSN
S45OD05		45°	7,3 mm	ODMT 0504ZZN
S45OD06		45°	8,6 mm	ODEW 0605ZZN ODMT 0605ZZN RPEW 1505MOS RPET 1505MOS-M ODMX 0605ZZ
S45SE09F		45°	4,5 mm	SEMT 09T3AFSN
W75SP15D		75°	13,0 mm	SPGN 150408 SPKN 1504EDER SPKN 1504EDSR SPKR 1504EDSR SPUN 150412 SPKX 1504EDFR
F60SB22X		60°	15,0 mm	SBMR 2207DZSR

3 Cíle disertační práce

Tato disertační práce řeší problematiku sortimentu nástrojů nejvýznamnějšího domácího výrobce v oblasti nástrojů pro třískové obrábění, společnost Pramet Tools, s.r.o. Šumperk. V současném sortimentu frézovacích nástrojů se nacházejí frézovací nástroje určené pro oblast hrubování, které jsou již svou konstrukcí a využitím na nižší úrovni z hlediska produktivity práce než nástroje nových generací. Inovace části sortimentu je tedy nezbytná.

Zpracování metodiky testování má sloužit pro efektivnější a rychlejší analýzu prototypových nástrojů pro hrubování, jako návod v případě měření a následných testů prototypů. Cílem je tedy stanovit, definovat a nalézt takovou metodiku zkoušení prototypů frézovacích nástrojů, která umožní získaná a zpracovaná data využít do budoucna jako vstupní data pro další nástroje, jejich analýzu, měření a zkoušky obrábění tak, aby bylo docíleno s maximální úspory časů, a tedy i příslušných nákladů.

Cíle disertační práce jsou:

- analyzovat sortiment frézovacích nástrojů pro oblast hrubování (střední až těžké hrubování),
- vytipovat vybranou část sortimentu fréz pro inovační proces,
- navrhnout nové konstrukční řešení frézy jako náhradu za část sortimentu,
- vyrobit prototypový nástroj – frézu (vhodné zástupce),
- vyrobit prototypové dávky vyměnitelných břitových destiček,
- provést měření nástroje a destiček známými postupy,
- otestovat a odzkoušet prototypy nástrojů na zkušebně Pramet a u vybraných zákazníků,
- provést vyhodnocení prototypových zkoušek a analyzovat dosažené výsledky,
- navrhnout znění směrnice, jako metodiky testování prototypových frézovacích nástrojů pro oblast těžkého hrubování.

4 Inovační proces vývoje nového nástroje

4.1 Inovace sortimentu Pramet Tools

Sortiment hrubovacích a polohrubovacích fréz společnosti Pramet Tools nabízí zákazníkům celou škálu nástrojů pro jednotlivé operace frézování. Každý sortiment fréz je však nezbytně postupem času inovovat. Cílem každé inovace (následné náhrady) je, aby nejméně produktivní a nejstarší typy fréz byly nahrazeny novými nástroji, více produktivnějšími a s vyššími uživatelskými vlastnostmi. Návrh sortimentu fréz určený k inovaci je uveden v tabulce 4.1. Cílem je najít pokud možno jedno konstrukční řešení, které plnohodnotně pokryje svými parametry všechny nahrazující typy fréz.

Tab. 4.1 Návrh sortimentu fréz k inovaci (nahrazení) [11]

Označení frézy (ISO)	Zobrazení (foto)	χ_r (°)	$a_{p \max}$ (mm)	Typ VBD (ISO)
W45SE15F		45°	9,0 mm	SEER 1504AFSN SEER 1504AFEN SEEN 1504AFSN
W45SE123F		45°	6,5 mm	SEER 1203AFEN SEER 1203AFSN SEEN 1203AFFN SEEN 1203AFSN
S45SE12F		45°	6,5 mm	SEET 1204AFEN SEET 1204AFSN SEET 1204AFFN-FA SEEW 1204AFEN SEEW 1204AFSN
W75SP15D		75°	13,0 mm	SPGN 150408 SPKN 1504EDER SPKN 1504EDSR SPKR 1504EDSR SPUN 150412 SPKX 1504EDFR

4.2 Návrhová řešení - design

Nahrazení sortimentu fréz uvedeného v tabulce 4.1 za nový sortiment, musí splňovat určité základní podmínky. Především se jedná o parametry z hlediska budoucího použití, kterými jsou:

- maximální hloubka řezu v axiálním směru frézování $a_{p \max}$,
- rozsahy průměrů fréz D ,
- uvažovaný počet zubů na fríze z , tzv. zubatost
- rozsahy posuvů na zub f_z ,
- použití materiálů VBD z SK (kombinace substrátu a povlaku),
- cílové skupiny obráběných materiálů dle ISO 513 (P, M, K, S, N, H).

Mezi vstupní parametry pro tvorbu návrhových konstrukcí a designu nových prototypových fréz patří vždy parametry týkající se maximální hloubky řezu v axiálním

směru frézování $a_{p\max}$, volba průměru frézy D pro prototyp s uvažovaným počtem zubů z , minimální a maximální hranice posuvů na zub $f_{z\min}$ a $f_{z\max}$. Ze znalostí teorie obrábění a z dosavadních zkušeností v oblasti projektování, konstrukce a výroby frézovacích nástrojů, se nabízejí následující konstrukční řešení fréz, jejichž společnými znaky jsou hodnoty $a_{p\max} = 10\text{ mm}$; $D = 200\text{ mm}$, $z = 10$. Autorská práva následujících návrhových studií patří společnosti Pramet Tools, s.r.o., Šumperk.

Autorem designových studií – návrhů č. 1 až č. 5 je pan Ing. Pavel Krahula z oddělení Výzkumu a vývoje Pramet Tools.

Designový návrh č.1. (60°)

Základní parametry nástroje:

Úhel nastavení $\chi_r = 60^\circ$; VBD typu SNMR 17; axiální úhel čela γ_p cca $+13^\circ$ ($+12^\circ$); radiální úhel čela γ_f cca -13° .

Základní popis konstrukčního řešení: (obr. 4.1)

VBD upnuta klínem, podložka pod VBD upnuta šroubkem typu US 6013-T20P. Podobné řešení jako u hrubovací frézy s VBD SBMR 22 (tab. 2.3) se stejným klínem, pouze větší axiální úhel $z + 9^\circ$ na $+12^\circ$ až $+13^\circ$, menší VBD. Jednoduchá výměna VBD. Rozdíl úhlů hřbetů SBMR 22 a SNMR 17 je vykompenzován zvýšením radiálního úhlu $z - 9^\circ$ na -13° .

Jednodušší výroba lůžka VBD ve fréze i jednodušší výroba VBD než s VBD SBMR 22. Na částech s negativním hřbetem i možnost mírné úpravy sklonu řezné hrany.



Obr. 4.1 Návrh č. 1

(vlevo – konstrukce frézy ($\chi_r = 60^\circ$; SNMR 17, klín); vpravo – detail upnutí VBD (zleva - upínací klín, VBD SNMR 17, ochranná podložka tělesa frézy))

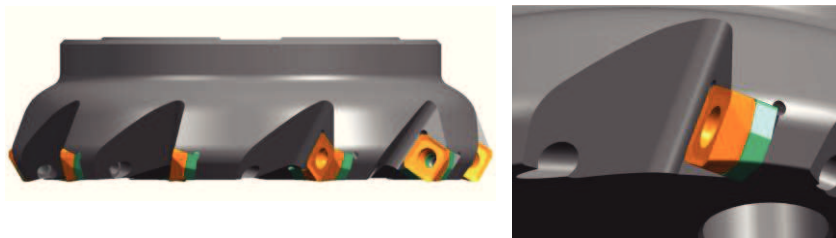
Designový návrh č.2. (60°)

Základní parametry nástroje:

Úhel nastavení $\chi_r = 60^\circ$; VBD typu SNMR 17; axiální úhel čela γ_p cca $+12^\circ$ ($+11^\circ$); radiální úhel čela γ_f cca -14° .

Základní popis konstrukčního řešení: (obr. 4.2)

VBD i podložka pod VBD upnuta šroubkem typu US 6013-T20P. Při výměně se tedy uvolní jak VBD, tak podložka. Výhodou je zde jednodušší výroba lůžka VBD i zubové mezery, větší prostor (místo) pro odchod třísky ve směru k ose frézy. U 1. návrhu (obr. 4.1) je toto omezeno upínacím klínem, který se upíná nad středem VBD.



Obr. 4.2 Návrh č. 2

(vlevo – konstrukce frézy ($\chi_r = 60^\circ$; SNMR 17, šroubek); vpravo – detail upnutí VBD (zleva – VBD SNMR 17, ochranná podložka tělesa frézy, společný upínací šroub není zobrazen))

Designový návrh č.3. (45°)

Základní parametry nástroje:

Úhel nastavení $\chi_r = 45^\circ$; VBD typu SNMT 19; axiální úhel čela γ_p cca $+12^\circ (+10^\circ)$; radiální úhel čela γ_f cca -14° .

Základní popis konstrukčního řešení: (obr. 4.3)

VBD upnuta šroubkem typu US 6020-T25P do mezišroubu typu CA 6018. Mezišroub upíná podložku do tělesa frézy. Vnější průměr závitu mezišroubu $d = 10$ mm. Při výměně VBD se nemusí vyšroubovat podložka. Nevýhodou zůstává však to, že velký průměr mezišroubu má za příčinu tenčí stěny jak podložky, tak i v tělese frézy. Výhodou je zde jednodušší výroba lůžka VBD i zubové mezery, větší prostor (místo) pro odchod třísky ve směru k ose frézy. U 1. návrhu (obr. 4.1) je toto omezeno upínacím klínem, který se upíná nad středem VBD. Nevýhodou je ale větší velikost VBD.



Obr. 4.3 Návrh č. 3

(vlevo – konstrukce frézy ($\chi_r = 45^\circ$; SNMT 19, mezišroub); vpravo – detail upnutí VBD (VBD SNMT 19, ochranná podložka tělesa frézy, šroub a mezišroub není zobrazen))

Designový návrh č.4. (60°)

Základní parametry nástroje:

Úhel nastavení $\chi_r = 60^\circ$; VBD typu SNMT 19; axiální úhel čela γ_p cca $+12^\circ (+10^\circ)$; radiální úhel čela γ_f cca -14° ; axiální hloubka třísky $a_{p\max} = 12,3$ mm.

Základní popis konstrukčního řešení:

Toto konstrukční řešení je shodné s 3. návrhem, rozdíl pouze v $\chi_r = 60^\circ$.

Designový návrh č.5. (60°)

Základní parametry nástroje:

Úhel nastavení $\chi_r = 60^\circ$; tangenciální VBD s klesající řeznou hranou, rozměry VBD: $17 \times 14 \times 7,5$ (mm); axiální úhel čela γ_p cca $-5^\circ (-7^\circ)$; axiální úhel čela γ_p s VBD cca $-2^\circ (0^\circ)$; radiální úhel čela γ_f cca -14° ;

Základní popis konstrukčního řešení: (obr. 4.4)

VBD upnuta šroubkem typu US 6020-T25P, případně US 50180-T20P. Možnost uložení VBD ve fríze s podložkou nebo bez podložky. S podložkou dojde ke zmenšení zubové mezery pro odchod třísky. VBD se čtyřmi řeznými hranami, tak jako u předcházejících čtyř návrhů. Výhoda tangenciálního řešení především ve vyšší tuhosti uložení VBD. Nevýhodou zůstává vyšší řezný odpor nástroje v místě řezu a vyšší požadavky na tuhost soustavy stroj-obrobek-nástroj.



Obr. 4.4 Návrh č. 5 – návrh tvaru tangenciální VBD

4.3 Volba návrhového řešení pro prototyp

V předchozí kapitole 4.2 je přehledně uvedeno 5 typů návrhových řešení konstrukcí fréz včetně VBD vycházející z požadavků uvedených v kapitole 2.1. Z detailního rozboru všech 5 návrhů s přihlédnutím na jednotlivá technická řešení konstrukcí fréz, z rozboru případných výrobních požadavků a z ekonomického hlediska z pohledu nahrazení celého sortimentu, splňuje tyto požadavky pouze designový návrh č. 1 (obr. 2.1). Výstupní technické parametry konstrukčního řešení jsou uvedeny v tabulce 4.2.

Tab. 4.2 Technické parametry nového konstrukčního řešení frézy

Název parametru	Hodnota
Úhel nastavení χ_r (°)	60
Typ VBD (ISO)	SNMR 17
Maximální axiální hloubka řezu $a_{p \max}$ (mm)	10
Průměr frézy D (mm)	200
Počet zubů z na daném průměru (-)	10
Axiální úhel čela γ_p (°)	+ 13
Radiální úhel čela γ_f (°)	- 14

Konstrukční řešení uvedené na obrázku 4.1 s technickými parametry uvedenými v tabulce 4.2, bylo stanoveno za nejvhodnější inovativní řešení nové konstrukce frézovacího nástroje. VBD typu SNMR 17 byly z hlediska geometrických parametrů detailně rozpracovány podle požadavků na aplikační oblasti použití a požadavků na zvýšení produktivity práce v porovnání s nahrazujícím sortimentem fréz. Technické parametry nového sortimentu VBD jsou uvedeny v tabulce 4.3.

Tab. 4.3 Technické parametry nového konstrukčního řešení VBD

Označení VBD (ISO)	Rozsah posuvů na zub f_z (mm)	Poznámka
SNMR 1706DZSR-M	0,20 ÷ 0,40	pro polohrubovací operace
SNMR 1706DZSR-R	0,30 ÷ 0,55	pro hrubovací operace
SNKR 1706DZSR	od 0,20	pro hladicí operace

Volba konstrukčního řešení pro budoucí prototypy fréz s VBD typu SNMR 17 plnohodnotně využívají dosavadních zkušeností z řešení podobného typu frézovacích nástrojů, který jsou hrubovacích frézy pro těžké hrubování řady F60SB22X s VBD typu SBMR 2207DZSR (obr. 4.5). Frézy typu F60SB22X patří mezi nejvíce žádaný sortiment hrubovacích nástrojů pro těžké hrubování. Jsou určeny pro prvotní opracovávání povrchů odlitků, výkovků, vývalků a svařenců. Charakteristickými znaky těchto typů polotovarů jsou především silně znečištěné povrchy pokryté kůrou, dále proměnlivá tloušťkou hloubky řezu a zakalené materiálové struktury (povrchy svarů, licí pole, písková ložiska, aj.).



Obr. 4.5 Sortiment fréz řady F60SB22X pro oblast těžkého hrubování s destičkami typu SBMR 2207DZSR [11]

Z hlediska koncepce náhradních dílů a příslušenství pro prototypové frézy s VBD typu SNMR 17 je bylo postupováno tak, aby bylo možné využít stávajících náhradních dílů ze zmiňovaných fréz pro těžké hrubování typu F60SB22X (tab. 4.4). Využití tohoto řešení přináší rovněž pozitiva z hlediska přístupu ke skladovým položkám, jejich množství a četnost. Unifikace sortimentu náhradních dílů přináší rovněž důležité a nemalé ekonomické úspory.

Tab. 4.4 Společný sortiment náhradních dílů pro frézy F60SN17X a F60SB22X [11]

Název náhradního dílu	Označení	Zobrazení
Upínací šroub podložky pod VBD	US 6013-T20P	
Upínací klín VBD	KU SBMR 2207	
Diferenciální upínací šroub (zušlechtěný)	DS 01 Z	
Utahovací šroubovák	SDR T20P-T	
Utahovací klíč	KL 04	

4.4 Výroba prototypů nástrojů

4.4.1 Výroba fréz

Výkresová dokumentace pro výrobu prototypů fréz (průměr $D = 200$ mm a $D = 160$ mm) je uvedena v Příloze č. 1, a vychází z návrhového řešení z kapitoly 4.3. Volba výchozího materiálu pro výrobu těles fréz využívá dlouholetých zkušeností a znalostí materiálů pro výrobu nástrojů. Požadavky na materiál těles fréz jsou nemalé.

Materiál tělesa frézy musí odolávat extrémnímu teplotnímu zatížení, stálostí rozměrů, houževnatosti „jádra“ a tvrdosti povrchu proti otěru od odcházející třísky. Materiál zvolený pro výrobu těles prototypů fréz je nejčastěji ocel, jakosti 16 343 (34CrNiMo6). Její mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 4.5, chemické složení je uvedeno v tabulce 4.6.

Tab. 4.5 *Mechanické vlastnosti oceli 16 343 (34CrNiMo6) [17]*

Název	Velikost
Mez pevnosti v tahu R_m (MPa)	1100 až 1300
Minimální mez kluzu R_e (MPa)	900
Minimální tažnost A_5 (%)	10
Minimální nárazová práce KV (J)	64

Tab. 4.6 *Chemické složení oceli 16 343 (34CrNiMo6) [17]*

Chemické složení - rozběr tavby (%)								
C	Mn	Si	P max	S max	Cr	Ni	Mo	ostatní
0,32	0,50	0,15	0,035	0,035	1,30	1,30	0,20	
až	až	až			až	až	až	
0,40	0,80	0,40			1,70	1,70	0,30	

Ocel jakosti 16 343 je ocel typu Cr-Ni-Mo, kterou lze zušlechtit na vyšší pevnost a je určena pro použití za vyšších teplot, tzn. je žárupevná. Ocel 16 343 je vhodná pro velmi náročné konstrukční prvky a díly, případně i pro práci při snížených teplotách až do - 50 °C. Její oblast použití je velmi široká. Lze ji použít pro výrobu kompresorových a turbinových kol, kloubových hřídelí, unášeců trakčních motorů, ozubených kol apod. Svařitelnost této oceli je obtížná.[17] Z dosavadních zkušeností s výrobou prototypů nástrojů byla stanovena výroba prototypů fréz ve dvou rozměrových řadách, $D = 200$ mm v počtu 3 kusů a $D = 160$ mm v počtu 3 kusů.

4.4.2 Výroba lisovacích nástrojů pro VBD

Výrobě prototypových VBD z SK předchází výroba příslušných typů a rozměrů lisovacích nástrojů. Lisovací nástroj se skládá z horního razníku, dolního razníku a matrice. Na výrobu lisovacích nástrojů jsou kladeny obzvláště vysoké požadavky především na rozměrovou přesnost a kvalitu obrobené plochy. Lisovací nástroje jsou vyráběny v průměru o 21 % větší. Hodnota 21 % představuje hodnotu smrštění slinutého karbidu při slinovacím režimu (slinování). Vylisovaná VBD ze SK je tedy o 21 % větší než finální „výrobek“. Na obrázku 4.6 je zobrazen hotový lisovací nástroj pro výrobu vzorků prototypů VBD typu SNMR 1706DZSR-M.

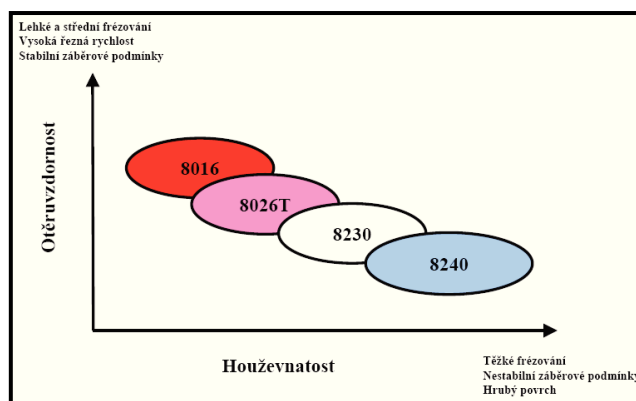


Obr. 4.6 *Lisovací nástroj pro VBD SNMR 1706DZSR-M (zleva – horní razník s utvařečem –M; spodní razník; matrice)*

4.4.3 Výroba VBD z SK

Výrobní výkresová dokumentace pro výrobu prototypů VBD typu SNMR 1706DZSR-M je uvedena v Příloze č. 2, SNMR 1706DZSR-R v Příloze č. 3 a SNKR 1706DZSR v Příloze č. 4. Volba z jednotlivých materiálů, polotovarů slinutých karbidů závisí na aplikační oblasti použití slinutého karbidu na daném typu obráběného materiálu. VBD lze vyrobit ze stávajícího sortimentu materiálů pro frézování a to jak s krycími povlaky na bázi PVD (obchodní označení materiálů 8016, 8230, 8240 a 8026T), tak s povlaky na bázi MT-CVD (obchodní označení materiálů 2215, 2230 a 5026). Vzhledem ke skutečnosti, že nový nástroj je určen pro polohrubovací a hrubovací operace frézování, je vhodné použít pro výrobu VBD materiály opatřené krycími povlaky na bázi PVD (obr. 4.7).

Materiál 8016 ani 8240 není v tomto případě vhodný pro výrobu vzorků prototypových VBD. Materiál 8106 je vhodný pro vyšší řezné rychlosti, lehké a střední frézování při stabilních řezných podmínkách. Materiál 8240 je příliš houževnatý a je vhodný pro nižší řezné rychlosti a nestabilní řezné podmínky. Vhodnými materiály pro výrobu vzorků VBD jsou materiály 8026T, který je vhodný pro střední a vyšší posuvy a střední až vysoké řezné rychlosti při stabilních záběrových podmínkách. [11]



Obr. 4.7 Frézovací materiály PRAMET s PVD povlaky

Z dosavadních zkušeností s výrobou prototypů byla stanovena výroba destiček v následujících materiálových řadách a geometriích:

- a) z materiálu 8026T s geometrií M (SNMR 1706DZSR-M; 8026T),
- b) z materiálu 8026T s geometrií R (SNMR 1706DZSR-R; 8026T),
- c) z materiálu 8230 s geometrií M (SNMR 1706DZSR-M; 8230),
- d) z materiálu 8230 s geometrií R (SNMR 1706DZSR-R; 8230),
- e) z materiálu 8026T s „hladící“ geometrií (SNKR 1706DZSR; 8026T).

Z každé materiálové řady a geometrie je výroba prováděna v určitých minimálních výrobních dávkách. V našem případě je vhodné vyrábět VBD v minimálním počtu 50 kusů. Obvykle však tento počet bývá navýšen na 100 až 200 kusů, podle složitosti a velikosti prototypových VBD. Početním hlediskem je i rovněž předpoklad, zda je v rámci řešení úkolu uvažováno s případnými úpravami geometrie a rozměru VBD nebo tvaru a geometrie utvařeče třísek na čele VBD.

4.4.3.1 VBD z materiálu 8230

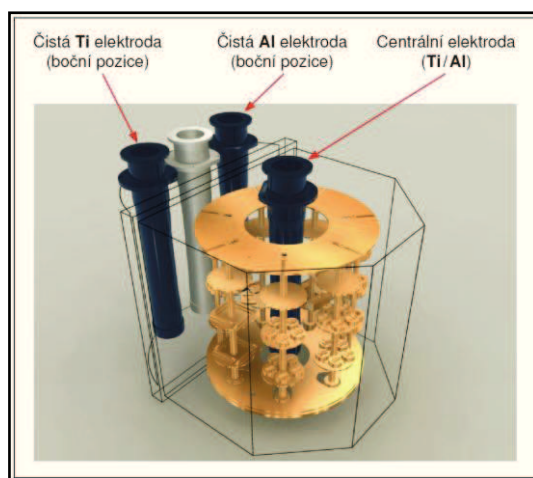
Tak jak již bylo zmíněno v kapitole 4.4.3, jsou pro výrobu VBD určených pro polohrubovací až hrubovací operace frézování nejvhodnější materiály opatřené PVD povlaky. Pramet Tools tyto materiály vyrábí v dlouholeté spolupráci s firmou

SHM, s.r.o Šumperk. Vlivem úzké spolupráce obou firem dochází pravidelně k inovaci frézovacích materiálů s cílem dosáhnout u nových povlaků nárůst kvalitativních a tím i užitných hodnot minimálně o 15 % oproti předcházejícímu řešení. Každý materiál opatřený povlakem PVD a MT-CVD má své čtyřmístné číselné obchodní označení. Výjimku tvoří pouze materiál 8026T (ten ve svém označení používá ještě navíc písmeno „T“).

Nový materiál 8230 - je zcela nový, univerzální, výkonný a provozně spolehlivý materiál pro frézovací operace, které vyžadují houževnatost a zároveň i dobrou otěruvzdornost břitů. 8230 byla optimalizovaná pro frézování běžných ocelových materiálů, korozivzdorných ocelí, litin, žárupevných slitin, zušlechťených a kalených ocelí. Jedná se tedy o velice univerzální materiál s širokou oblastí použití. Je především vhodný pro nestabilní záběrové podmínky a pro střední řezné rychlosti. [18]

Složení - substrát materiálu 8230 je slinutý karbid vyráběný z jemně zrnitého karbidu wolframu s 10 % obsahem kobaltu. Nový PVD povlak o tloušťce v rozsahu 3,5 až 5,5 μm tvoří multivrstva nové generace kombinující nižší vnitřní pnutí vrstvy na bázi TiN s vrstvou na bázi TiAlN charakteristickou vyšší abrazivní odolností. Povlak je připraven na povlakovacím zařízení π 300 (obr. 4.8), které je ve světě široce využíváno k přípravě unikátních nanostrukturovaných a nanokompozitních povlaků. Originální uspořádání povlakovací komory a kombinace laterálních a centrální katody umožňují velmi přesné a sofistikované kombinace multivrstev a vícesložkových povlaků. V případě nového materiálu 8230 byl vyvinut nanostrukturovaný povlak na bázi TiAlN s vysokým obsahem Al, který zajišťuje vysokou abrazivní odolnost a zvyšuje jeho odolnost vůči oxidaci. Proto je možné připravovat povlak s nižší tloušťkou, než je u podobných aplikací nezbytné, a to má příznivý vliv na zachování malého rádiusu řezné hrany. Nový povlak má navíc drsnost povrchu R_a v rozsahu 0,2 až 0,3 μm oproti stávajícímu povlaku na materiálu 8026, který má drsnost povrchu R_a v rozsahu 0,3 až 0,35 μm . Nižší drsnost povrchu snižuje možnost nalepování obráběného materiálu. V porovnání s předcházející generací materiálu 8026, kterou nyní nový materiál 8230 nahrazuje, doznal nový materiál zlepšení svých užitných vlastností. Především se jedná o vyšší trvanlivosti a vysokou otěruvzdornost břitů, široký rozsah použití a v poslední řadě i dobrou provozní spolehlivost. [18]

Vlastnosti nového materiálu 8230 byly důkladně ověřeny laboratorními testy a následnými zkouškami u řady zákazníků. Nový frézovací materiál 8230 dosáhl v porovnání se stávajícím materiálem 8026 výrazného zlepšení. Nárůst trvanlivost nového materiálu 8230 byl zaznamenán ve většině případů o více jak 40 % vůči stávajícímu materiálu 8026. [18]



Obr. 4.8 Uspořádání povlakovací komory zařízení π 300 - SHM [18]

5 Metodika testování prototypů fréz pro hrubování

Následující kapitoly jsou zaměřeny na popis činností a úkonů souvisejících s kontrolou, ověřením, testováním a vyhodnocením prototypů nástrojů při použití stávajícího laboratorního vybavení, pomůcek, měřidel a zkušeností ve společnosti Pramet Tools, s.r.o. Šumperk.

5.1 Kontrola rozměrových vlastností

Měření základních rozměrů nástrojů podle výrobního výkresu je zaměřeno na zjištění shody a případných odchylek mezi skutečnými hodnotami (rozměry) a hodnotami uvedenými na výkresové dokumentaci. Každá prototypová fréza je vždy proměřena s tzv. „Master Insert“, což v překladu znamená „etalonová destička“. Etalonová destička je charakteristická svou rozměrovou přesností s odchylkou skutečných hodnot v toleranci do + 20% od příslušných jmenovitých rozměrů.

5.1.1 Měření základních rozměrů u fréz

Mezi základní měřené parametry u prototypových fréz můžeme řadit:

- a) řezný průměr D ,
- b) výška nástroje (frézy) L ,
- c) velikost upínacího otvoru d_1 ,
- d) velikost dotahu a ,
- e) tvrdost tělesa frézy.

5.1.1.1 Řezný průměr D

Řezný průměr D lze měřit na vertikálním seřizovacím přístroji typu BMD 465v s použitím počítačového softwaru BMD TOOLS V2.0 (obr. 5.1). Přístroj BMD 465v pracuje na bázi optického zobrazování (projektoru). Hlavní částí přístroje je matnice projektoru o průměru 150 mm s 20 násobným zvětšením (20x). Zobrazovací jednotkou s naměřenými hodnotami je LCD monitor připojený k počítačové stanici a pracující se softwarem BMD TOOLS V2.0. Nastavování souřadnic přístroje BMD 465v se provádí otáčením příslušných polohovacích „točítek“. Přístroj je dále vybaven kalibračním trnem pro nastavení a kontrolu počátku souřadnic přístroje, dále je vybaven adaptérem pro použití různých druhů upínacích kuželů a vakuového upínacího systému [19]. Základní parametry vertikálního seřizovacího přístroje BMD 465v jsou uvedeny v tabulce 5.1.



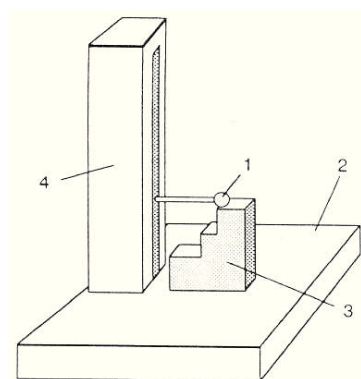
Obr. 5.1 Pracovní stanice vertikálního seřizovacího přístroje BMD 465v

Tab. 5.1 Technické parametry přístroje BMD 465v [19]

Název parametru	Hodnota
Házivost ve vřeteníku	max. 3 μm
Házivost na kontrolním trnu L / 300 mm	max. 10 μm
Rovnoběžnost trnu k ose Z	max. 7 μm
Kolmost osy X k ose Z	max. 15 μm
Délková odchylka v ose X (100 mm)	max. 10 μm
Délková odchylka v ose Z (400 mm)	max. 10 μm
Příslušenství	počítačová stanice, LCD monitor
Upínání	vakuový upínací systém vřetene

5.1.1.2 Výška frézy L

Výšku frézy L lze měřit pomocí výškoměru typu DIGIMAR CX1/DX1. Princip měření výškoměru je schematicky uveden na obrázku 5.2, vlevo. Měřicí pracoviště se skládá z měřicí desky, výškoměru CX1 a ovládacího a vyhodnocovacího přístroje DX1. Toto měřicí pracoviště si lze představit jako svisle postavené velké posuvné měřítko. Měřicí deska představuje jeho spodní čelist, snímač - horní čelist. Měřicí prostor se nachází mezi měřicí deskou a snímačem. Měřený dílec se umístí na měřicí desku. Výškoměr změří vzdálenost mezi měřicí deskou a snímaným bodem na dílcí. Přímý měřicí rozsah činí 600 mm. Vzhledem k principu měření je měřicí pracoviště určeno především pro jednorozměrná měření ve svislém směru. Inteligentní ovládací a vyhodnocovací přístroj ukazuje naměřené hodnoty jednotlivých snímaných bodů a může i tyto body vzájemně propojovat. Tímto způsobem je možno snadno kontrolovat, ale i komplikovat geometrii obrobků [20]. Základní technické parametry výškoměru DIGIMAR CX1/DX1 jsou uvedeny v tabulce 5.2.



Obr. 5.2 Výškoměr DIGIMAR CX1/DX1 [20]

(vlevo - princip měření výškoměru DIGIMAR; 1 - snímač, 2 - měřicí deska, 3 - měřený obrobek, 4 - výškoměr; vpravo – pracoviště DIGIMAR CX1/DX1)

Tab. 5.2 Technické parametry výškoměru DIGIMAR CX1/DX1 [20]

Název parametru	Hodnota
Měřicí rozsah	600 mm
Nejistota měření U95 (20°C; deska GK0)	(2+L/400) μm (L v mm)
Odchylka pravoúhlosti	frontálně: < 8 μm
Opakovatelnost $\pm 2 \sigma$	na ploše: 0,5 μm v otvoru: 1,0 μm
Měřicí síla (standardní snímač)	1 N \pm 0,2 N
Rychlosti snímání	(5, 8, 10, 12, 15, 30) mm \cdot s ⁻¹
Pracovní teplota	20°C \pm 1°C
Provozní teplota	10°C až 40°C
Přípustná relativní vlhkost	max. 65% (nekondenzující)
Klávesnice	krytá fólií s tiskovým bodem
Rozhraní	RS-232 (počítač, tiskárna)
Vstupy pro měřicí přístroje	4

5.1.1.3 Upínací otvor d_I

Upínací otvor d_I lze měřit s pomocí přesného tří-dotekového dutinoměru typu HOLTEST MITUTOYO ve standardním analogovém provedení (obr. 5.3). Princip měření spočívá v tom, že se měřidlo dotýká svými doteky stěny měřeného otvoru ve třech bodech. Uspořádání tří měřicích doteků se vzájemným úhlem 120° podstatně usnadňuje manipulaci a zvyšuje přesnost měření ve srovnání s běžnými dvou-dotekovými dutinoměry. Otáčením tzv. řehtačky se dutinoměr v otvoru sám vystředí [21]. Technické parametry tří-dotekového dutinoměru HOLTEST MITUTOYO jsou uvedeny v tabulce 5.3.



Obr. 5.3 Přesný třídotekový dutinoměr HOLTEST MITUTOYO

Tab. 5.3 Technické parametry třídotekového dutinoměru HOLTEST MITUTOYO [21]

Název parametru	Hodnota
Přesnost	DIN 863/4 při dosedajících plochách
Dělení stupnice	do 12 mm: 0,001 mm
	nad 12 mm: 0,005 mm
Stupnice	na bubínku, na pouzdře matně chromovaná
	do 12 mm: Ø 17 mm
	nad 12 mm: Ø 23 mm
Vřeteno	stoupání vřetene 0,5 mm
Měřicí plochy	z tvrdokovu
Kužel a kontaktní bod	z tvrdokovu
Rozsah měření 1. měřidla ($D = 200$ mm)	40 až 50 mm
Rozsah měření 2. měřidla ($D = 160$ mm)	50 až 63 mm

5.1.1.4 Dotah α

Dotah α lze měřit spárovými kalibračními měrkami (obr. 5.4). Jedná se o speciálně upravené ocelové plíšky přesných tloušťek. Spárové měrky a její použití řadíme do porovnávací metodiky měření. Vlastním měřením se zjišťuje, zda existuje spára mezi dosedací plochou etalonové destičky a dosedací plochou lůžka v tělese frézy. Spárová měrka se přiloží mezi dosedací plochu u nástroje a VBD.



Obr. 5.4 Spárové kalibrační měrky

5.1.1.5 Tvrdost tělesa frézy

Tvrdost tělesa frézy lze měřit stolním přístrojem (tvrdoměrem) typ ROCKWELL RB1 (obr. 5.5), který je určen obecně k měření tvrdosti kovů metodami Rockwell a Brinell [22]. Měřený vzorek se položí na pracovní otočný stůl a manipulací šroubového převodu stolu se provede umístění měřicího dotyku na plochu měřeného vzorku. Uvedení stroje do chodu se provede mechanicky stlačením páky do dolní polohy. Na zobrazovacím kotouči lze odečíst naměřená hodnotu tvrdosti. Technické parametry přístroje na měření tvrdosti jsou uvedeny v tabulce 5.4.



Obr. 5.5 Stolní přístroj na měření tvrdosti - tvrdoměr ROCKWELL RB1

Tab. 5.4 Technické parametry přístroje na měření tvrdosti [22]

Název parametru	Hodnota
Rozměry základny přístroje	452 x 180 mm
Vyložení osy zdvihacího šroubu	160 mm
Největší zkušební výška	210 mm
Hmotnost tvrdoměru a příslušenství	100 + 17 kg
Potřeba oleje pro náplň brzdy	55 cm ³
Napětí osvětlení stolku	230 V, 50 Hz
Příslušenství – vnikající těleso Rockwell C	1 kus
Příslušenství – držák kuličky Rockwell B	1 kus
Příslušenství – držák kuličky Brinell	1 kus
Příslušenství – kuličky Rockwell B	10 kusů
Příslušenství – kuličky Brinell	10 kusů

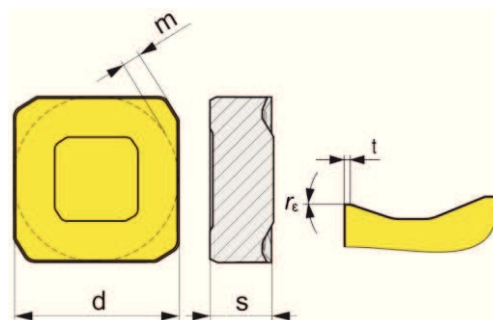
5.1.2 Měření základních rozměrů u standardních VBD

Měření základních rozměrů u standardních VBD je prováděno s cílem zjistit soulad nebo odhalit případné odchylky naměřených hodnot (rozměrů) vycházejících z výrobní výkresové dokumentace pro daný typ VBD. Mezi základní měřené parametry standardních VBD z SK (obr. 5.6) lze stanovit:

- velikost vepsané kružnice $d = IC$ (mm),
- výšku destičky s (mm),
- parametr m' (mm).

V případě verze VBD z SK opatřené fazetkou, dále:

- šířku čelní fazetky t (mm),
- zaoblení řezné hrany R_e (μm).



Obr. 5.6 Základní měřené parametry standardních VBD z SK s fazetkou

5.1.2.1 Vepsaná kružnice d

Vepsaná kružnice d jako základní parametr souměrnosti tvaru výrobku, je zjišťována přímou metodou měření, kdy jsou měřeny dvě na sobě kolmé strany (pracovně indexované jako strana „x“ a strana „y“) u měřené destičky. Měření lze provádět přístrojem typ SYLVAC 80 (obr. 5.7). Tento přístroj je vybaven přípravkem s bodovým snímačem, dotekem pro vkládání měřených vzorků a počítačovou stanicí se softwarem pro záznam naměřených hodnot. Základem přístroje SYLVAC 80 je zobrazovací jednotka D80, která zobrazuje absolutní hodnotu posuvu snímačů Sylvac s

dlouhým zdvihem P10, P25 a P50 s rozlišovací schopností až 0,0001 mm [23]. Technické parametry přístroje SYLVAC 80 jsou uvedeny v tabulce 5.5. Vlastnímu měření vždy předchází nastavením jmenovitého rozměru měřené hodnoty pomocí koncových měrek.

Tab. 5.5 *Technické parametry přístroje SYLVAC 80 [23]*

Název parametru	Hodnota
Rozměry (šířka x hloubka x výška)	227 x 132 x 38 (mm)
Nepřesnost jednotky D80 se snímačem P10	chyba D80 1,2 μm / snímač 1,0 μm
Nepřesnost jednotky D80 se snímačem P25	chyba D80 1,5 μm / snímač 1,5 μm
Nepřesnost jednotky D80 se snímačem P50	chyba D80 3,0 μm / snímač 4,0 μm
Opakovatelnost se snímačem P10	0,0003 mm
Opakovatelnost se snímačem P25	0,0003 mm
Opakovatelnost se snímačem P50	0,0012 mm



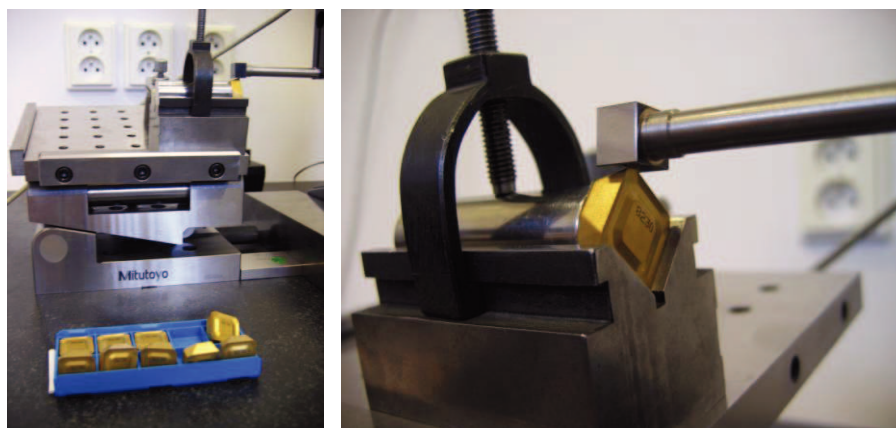
Obr. 5.7 *Měřicí pracoviště s přístrojem SYLVAC 80*

5.1.2.2 Výška destičky s

Výška destičky s u standardních VBD je zjišťována přímou metodou měření opět na přístroji typu SYLVAC 80 (obr. 5.7). I zde vlastnímu měření předchází nastavení jmenovitého rozměru koncovými měrkami. Samotné měření je prováděno pouze vkládáním měřených vzorků mezi dotek a základní desku měřicího přípravku. Po zobrazení naměřené hodnoty na displeji měřicího přístroje SYLVAC 80 se tato hodnota stisknutím příslušného tlačítka zaznamená přímo do tabulky programu v počítačové stanici.

5.1.2.3 Parametr m'

Parametr m' je zjišťován přímou metodou měření s pomocí přesné sinusové desky s možností nastavení ve dvou osách, firmy MITUTOYO (obr. 5.8, vlevo) spolu s prizmatem a výškoměrem DIGIMAR CX1/DX1 (obr. 5.2). Vlastnímu měření předchází nastavení přesné hodnoty úhlu pomocí koncových měrek tak, aby bylo docíleno vodorovné polohy měřeného vzorku, tj. poloha hladícího ostří destičky.

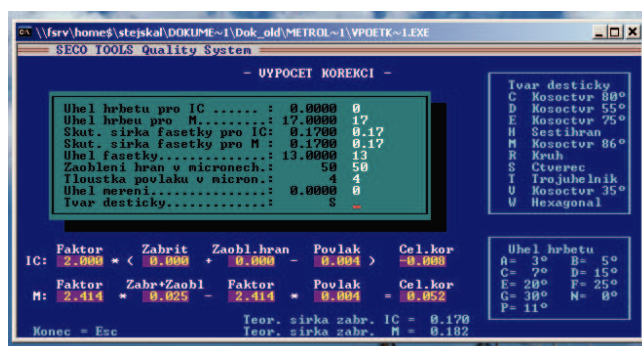


Obr. 5.8 Měření parametru m'
(vlevo – přesná sinusová deska MITUTOYO; vpravo – detail na dotek)

Dotek měřicího přístroje DIGIMAR CX1 dosedne celou svou plochou na plochu vedlejšího ostří (obr. 5.8, vpravo) a displej přístroje DIGIMAR DX1 zobrazí naměřenou hodnotu, která je pomocí komunikačního kabelu typu RS 232 přenesena a zaznamenána přímo do tabulky programu v počítačové stanici.

Korekce parametru m'

Naměřenou hodnotu parametru m' je nezbytné upravit tzv. korekčním součinitelem k_m , který zohledňuje geometrické parametry měřené VBD. Pro výpočet korekčního součinitele k_m lze použít speciální výpočtový program SECO TOOLS Quality System od firmy SECO (obr. 5.9). Výslednou hodnotu k_m , je nutné následně odečíst od naměřené hodnoty parametru m' zjištěné měřením na výškoměru DIGIMAR CX1/DX1

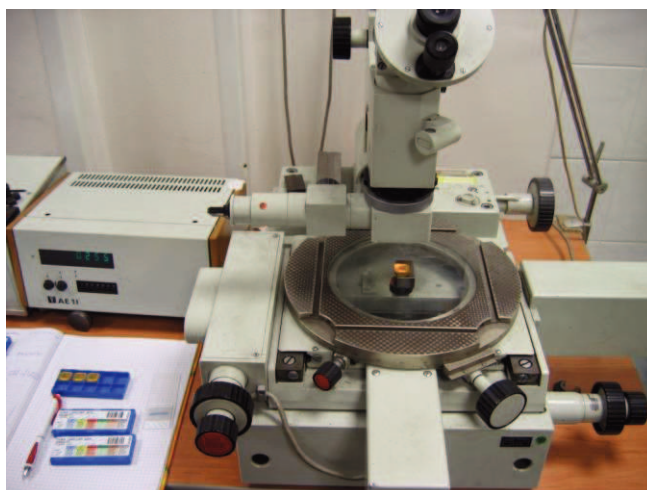


Obr. 5.9 Náhled na výpočet korekčního součinitele k_m pro standardní VBD

Korekční součinitel k_m zohledňuje geometrické parametry, kterými jsou: úhel hřbetu vepsané kružnice d , úhel hřbetu v místě parametru m' , skutečnou šířku fazetky pro vepsanou kružnici d , skutečnou šířku fazetky pro parametr m' , úhel fazetky, zaoblení řezné hrany, tloušťku naneseného povlaku na VBD, úhel měření, geometrický tvar VBD.

5.1.2.4 Šířka čelní fazetky t

Rozměr, velikost čelní fazetky t je možno získat měřením na velkém dílenském mikroskopu typu DC (Carl-Zeiss-Jena) se zobrazovací jednotkou typu AE11 (obr. 5.10.). Základní technická data dílenského mikroskopu DC jsou uvedena v tabulce 5.6.

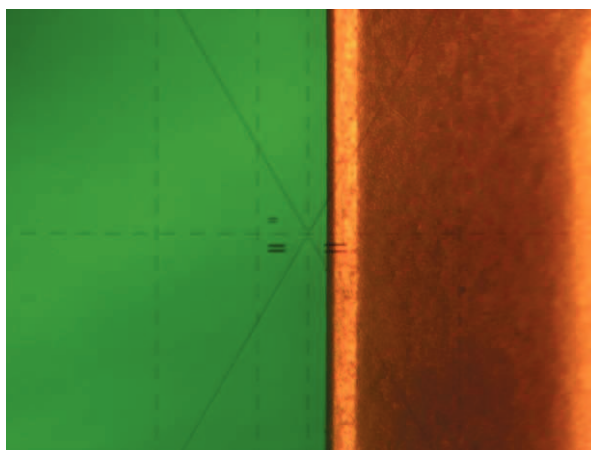


Obr. 5.10 Dílenský mikroskop DC se zobrazovací jednotkou AE11

Tab. 5.6 Základní technická data dílenského mikroskopu DC [24]

Název	Velikost
<i>Měřicí rozsahy mikroskopu</i>	
- souřadnicový měřicí stůl: osa x	0 ... 150 mm
- souřadnicový měřicí stůl: osa y	0 ... 50 mm
Úhlové dělení úhloměrného okuláru	0° ... 360°
Úhlové dělení na kruhovém stole	0° ... 360°
Průměr kruhového stolu	280 mm
<i>Zobrazovací jednotka AE11</i>	
Rozsah zobrazení	6 dekád a znamének
Číslicový krok	1 μm
Napájení	220 V; 50 Hz

Princip měření fazetky na ploše řezné hrany (břitu; ostří) destičky je následující. Měřená destička je umístěna na přípravek stolu mikroskopu, na kterém je s pomocí optiky a měřicího kříže v okuláru mikroskopu nastaven krajní bod plochy ostří (obr. 5.11). Po vynulování počítadla zobrazovací jednotky AE11 se pomocí ovládacích šroubů posuvu stolu odměřuje vzdálenost na měřeném vzorku, tzn. šířka fazetky t . Naměřená hodnota je tímto zobrazena na počítadle zobrazovací jednotky AE11 (obr. 5.10).

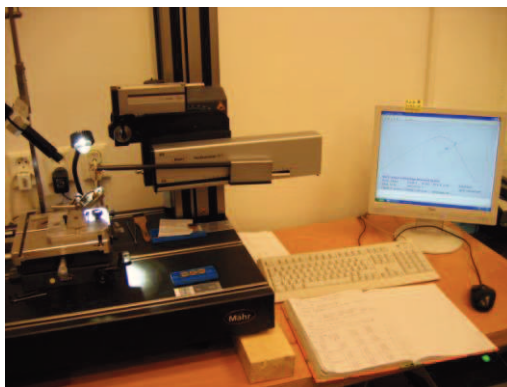


Obr. 5.11 Detail na fazetku VBD s měřicím křížem v okuláru mikroskopu DC

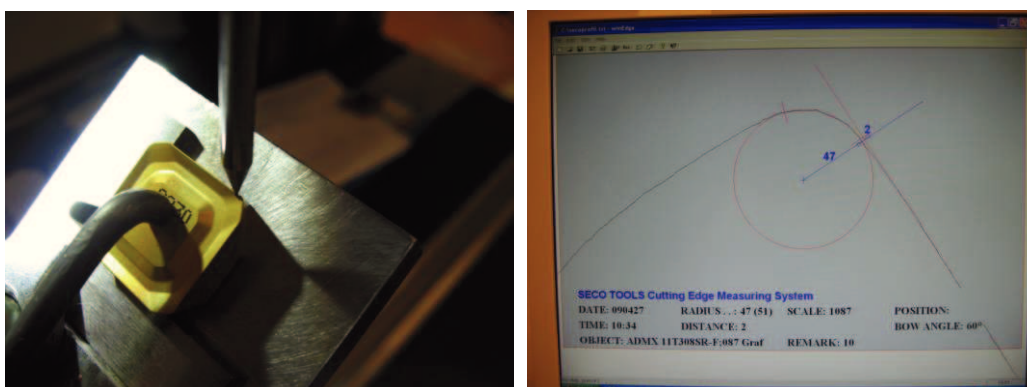
Jednotlivé velikosti fazetek jsou dány výrobní dokumentací pro daný tvar a typ VBD s příslušnou velikostí odchylky od jmenovitého rozměru. Naměřené hodnoty velikostí fazetek jsou dány jednak nepřesnostmi měření a jednak nepřesnostmi měřicích přístrojů, na kterém jsou měření prováděna. Nepřesnosti měření se rovněž označují jako tzv. „nejistoty měření“.

5.1.2.5 Zaoblení řezné hrany R_e

Měření zaoblení řezné hrany R_e lze provádět na profilometru, měřicím přístroji MAHR Perthometer PCV (obr. 5.12). Princip měření spočívá v nastavení polohy snímacího doteku na předpokládaný obrys řezné hrany VBD. Měřená VBD se umístí do upínacího mechanického přípravku (obr. 5.13, vlevo) a provede se polohování měřicího doteku na čelo VBD pomocí uživatelského menu programu v PC. Po stisknutí příslušného ovládacího tlačítka programu v PC se měřicí dotek opře na čelní plochu VBD a mechanickými převody „projede“ požadovaný úsek na VBD (dráhu od čelní plochy přes ostří až k hřbetní ploše VBD). Počítačový program vyhodnotí podle daných kritérií profil řezné hrany a přiřadí vepsanou kružnici příslušného poloměru včetně odchylky napojení poloměru hrany (obr. 5.13, vpravo). Velikosti zaoblení řezných hran R_e a jejich odchylek ΔR_e jsou dány vnitřním předpisem společnosti Pramet Tools, s.r.o.



Obr. 5.12 Pracoviště s přístrojem MAHR Perthometer PCV



Obr. 5.13 Měření zaoblení řezné hrany R_e
(vlevo – umístění měřené VBD v přípravku; vpravo – zobrazení naměřené hodnoty)

5.1.3 Měření základních rozměrů u hladicích VBD

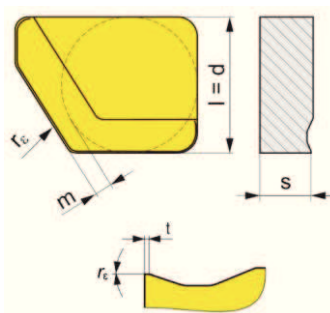
Hladicí VBD jsou speciální destičky určené pro dosahování vyšší kvality obrobené plochy. Jsou charakteristické svým tvarem (mají větší jednu řeznou hranu, kterou je hladicí břit) a zpravidla mají i jinou geometrii. Velikost a tvar řezné hrany je přizpůsoben danému typu VBD. Zjišťování souladu a případných odchylek naměřených hodnot u hladicích VBD vychází z výrobní výkresové dokumentace.

Mezi základní měřené parametry u hladicích VBD z SK (obr. 5.14) lze stanovit:

- velikost vepsané kružnice $d = IC$ (mm),
- výšku destičky s (mm) měřenou na hlavním ostří,
- výšku destičky s_1 (mm) měřenou na vedlejším ostří,
- parametr m' (mm).

V případě verze hladicí VBD z SK opatřené fazetkou, dále:

- šířku čelní fazetky t (mm),
- zaoblení řezné hrany R_ϵ (μm).



Obr. 5.14 Základní měřené parametry u hladicích VBD z SK s fazetkou

5.2 Funkční zkoušky obrábění prototypu

Pro prvotní ověření funkčnosti prototypů nástrojů jsou prováděny řezné zkoušky na zkušebně obrábění Pramet Tools. V další fázi následně u vybraných zákazníků. Funkční zkoušky obrábění si kladou za cíl odzkoušet a zkontrolovat funkčnost nástroje z hlediska:

- způsobu utváření třísky v místě řezu,
- analýzy trajektorie odchodu třísky z místa řezu (důraz na směr a rychlost),
- vzhledu, tvaru a velikosti třísky odebraného materiálu,
- chodu nástroje v řezu se zaměřením na hlučnost, vibrace a chvění,
- chodu nástroje v řezu z hlediska otěru nástroje od odchozí třísky obráběného materiálu,
- skutečného rozsahu posuvů na zub f_z , pro danou geometrii VBD,
- použití nástroje v řezu při maximální axiální hloubce řezu $a_{p \max}$.

5.2.1 Zkoušky obrábění na zkušebně

Zkoušky obrábění na zkušebně Pramet Tools jsou prováděny po celou dobu řešení projektu na prototypch nástrojů, prototypů VBD a jejich materiálů. Před zahájením samotných zkoušek obrábění je frézovací nástroj osazen příslušným typem VBD. Po osazení frézy destičkami je následně prováděna kontrola řezného průměru D na měřicím přístroji BMD 465v a dále je prováděna kontrola a měření výšky frézy L včetně upínače. Hodnota, která je měřením získána se zadává do řídicího programu stroje – frézky.

5.2.1.1 Strojní vybavení zkušebny

Zkušebna Pramet v tomto ohledu nabízí pro odzkoušení frézovacích nástrojů a materiálů VBD dvě strojní zařízení, frézky. Jedná se o frézovací CNC centrum typu MCV 1270 Power (obr. 5.15, vlevo), výrobce Kovosvit MAS, Sezimovo Ústí a NC stolovou frézku typu FCV 63 SCA (obr. 5.15, vpravo), výrobce TOS Kuřim. Technické parametry frézovacího centra MCV 1270 Power jsou uvedeny v tabulce 5.7, technické parametry NC stolové frézky FCV 63 SCA jsou uvedeny v tabulce 5.8.



Obr. 5.15 Vybavení zkušebny obrábění Pramet
(vlevo - frézovací centrum MCV 1270 Power; vpravo - frézka FCV 63 SCA)

Tab. 5.7 Technické parametry frézovacího centra MCV 1270 Power [25]

Název celku	Jednotka	Velikost
Stůl		
Upínací plocha stolu	mm	1500 x 670
Maximální zatížení stolu	kg	1200
Pracovní rozsah		
Osa X-Y-Z	mm	1270-610-720
Stroj		
Délka x šířka x výška	mm	5000 x 3600 x 3330
Výkon motoru S1/S6 – 25 % (40 %)	kW	ISO 40 (28/43); ISO 50 (28/43)
Maximální otáčky vřetena	1 . min ⁻¹	8000
Počet míst v zásobníku	ks	ISO 40 (30); ISO 50 (24)

Tab. 5.8 Technické parametry frézky FCV 63 SCA [26]

Název celku	Jednotka	Velikost
Stůl		
Upínací plocha stolu	mm	630 x 2200
Maximální zatížení stolu	kg	2000
Pracovní rozsah		
Osa X-Y-Z	mm	1500-630-630
Stroj		
Délka x šířka x výška	mm	4180 x 3010 x 3225
Jmenovitý výkon	kW	32
Maximální otáčky vřetena	1 . min ⁻¹	3000
Kužel ve vřeteni	ISO	50

5.2.1.2 Charakteristika obráběných materiálů

Funkční zkoušky obrábění na prototypch frézovacích nástrojů jsou obvykle prováděny na materiálech – oceli jakosti 12 050 (C45), korozivzdorné oceli jakosti 17 349 (X2 CrNiMo 17-12-2) a šedé litině jakosti 42 2425 (GG25). Všechny tři výše uvedené materiály jsou pokládány za etalonové materiály a jsou standardně používány pro zkoušky obrábění všemi výrobci nástrojů a materiálů ze slinutých karbidů. Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli 12 050, korozivzdorné oceli 17 349 a šedé litiny 42 2425 jsou uvedeny v tabulce 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 a 5.14.

Tab. 5.9 Mechanické vlastnosti oceli 12 050 (C45) [17]

Název	Velikost
Mez pevnosti v tahu R_m (MPa)	640 až 780
Minimální mez kluzu R_e (MPa)	390
Minimální tažnost A_5 (%)	20
Minimální nárazová práce KV (J)	-

Tab. 5.10 Chemické složení oceli 12 050 (C45) [17]

Chemické složení - rozbor tavby (%)								
C	Mn	Si	P max	S max	Cr max	Ni max	Cu max	ostatní
0,42 až 0,50	0,50 až 0,80	0,17 až 0,37	0,04	0,04	0,25	0,30	0,30	

Tab. 5.11 Mechanické vlastnosti korozivzdorné oceli 17 349 (X2CrNiMo 17-12-2) [17]

Název	Velikost
Mez pevnosti v tahu R_m (MPa)	440 až 690
Minimální mez kluzu R_e (MPa)	176
Minimální tažnost A_5 (%)	35
Minimální nárazová práce KV (J)	68

Tab. 5.12 Chemické složení korozivzdorné oceli 17 349 (X2CrNiMo 17-12-2) [17]

Chemické složení - rozbor tavby (%)								
C max	Mn max	Si max	P max	S max	Cr	Ni	Mo	ostatní
0,03	2,00	1,00	0,045	0,03	16,5 až 18,5	11,0 až 14,0	2,00 až 2,50	

Tab. 5.13 Mechanické vlastnosti šedé litiny 42 2425 (GG25) [17]

Název	Velikost
Mez pevnosti v tahu R_m (MPa)	250 až 350
Smluvní mez kluzu $R_{p0,1}$ (MPa)	165 až 228
Tažnost A_5 (%)	0,8 až 0,3
Maximální tvrdost (HB)	240

Tab. 5.14 Chemické složení šedé litiny 42 2425 (GG25) [17]

Chemické složení - rozbor tavby (%)					
C	Mn	Si max	P	S	ostatní
2,5 až 3,5	0,4 až 0,8	3,5	0,2 až 1,2	0,08 až 0,12	

Na obrobku, polotovaru k obrábění, je vždy před zahájením zkoušek obrábění proměřena tvrdost minimálně ve třech různých místech povrchu. K měření tvrdosti lze použít např. tvrdoměr EQUOTIP (obr. 5.16). Základní technická data tvrdoměru EQUOTIP jsou uvedena v tabulce 5.15.

Tab. 5.15 Technická data tvrdoměru EQUOTIP [27]

Název celku	Jednotka	Velikost
Rozsahy měření pro ocel	HB	80 až 650
	HV	80 až 940
	HRC	20 až 68
Hliníková slévárenská slitina	HB	30 až 160
Litina	HB	90 až 380
Mosaz	HB	40 až 170
Měděné slitiny k tváření	HB	45 až 315



Obr. 5.16 Měřicí přístroj na měření tvrdosti obrobků - EQUOTIP

5.2.1.3 Utváření třísky v místě řezu

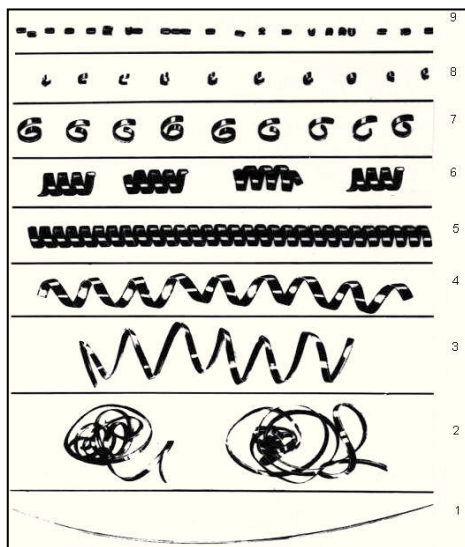
Z hlediska principu se jedná o řezné zkoušky obrábění za předem stanovených řezných podmínek. Důraz je kladen na sledování utváření třísky v místě řezu, jejich následným odběrem a vyhodnocením. Odebrané vzorky třísek je možné přehledně podle parametrů a hodnot řezných podmínek (axiální hloubky řezu a_p a posuvu na zub f_z) seřadit, a získat tak přehledný „diagram“ utváření třísek. Řezná zkouška je prováděna tak, aby bylo docíleno vždy stejné velikosti radiální hloubky řezu a_e . Důraz je rovněž kladen na proměření kvality obrobené plochy a získání hodnoty drsnosti povrchu R_a pro daný typ a geometrii VBD.

5.2.1.4 Trajektorie odchodu třísky z místa řezu

Analýza trajektorie (dráhy) odchodu odebrané třísky z místa řezu si klade za cíl zmapovat směr a rychlost odcházející třísky. Důležité v tomto případě je, aby odcházející tříska, respektive její dráha letu, nepředstavovala žádné riziko možného poškození nejen obrobeného povrchu hotového výrobku, ale i samotného nástroje. Udaná rychlost odcházející třísky je přímo úměrná řezné rychlosti; směr letu třísky je závislý na způsobu frézování (sousledné, nesousledné), poloze nástroje vůči obrobku (velikost a poloha poměru a_e / D), geometrii VBD a jakosti obráběného materiálu obrobku apod.

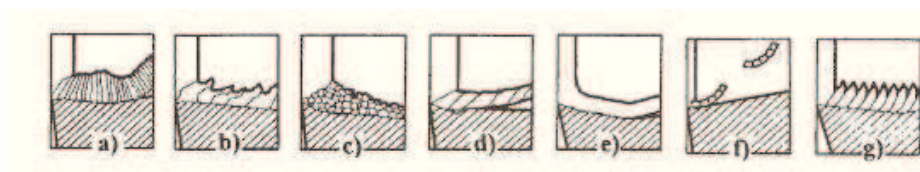
5.2.1.5 Charakteristika třísky

Charakteristika třísky představuje zmapování vzhledu, tvaru a velikosti třísky odebraného materiálu z místa řezu. Při procesu frézování je důležité, aby vznikající teplo nebylo akumulováno do obráběného materiálu a frézovacího nástroje, ale aby jeho největší část odcházela v odebrané třísece. Odcházející tříska tedy musí svými vlastnostmi zajistit co nejvyšší odvod vzniklého tepla z místa řezu. To lze v mnohém ovlivnit správnou volbou řezných podmínek, především řeznou rychlostí v_c a posuvem f_{min} . Třísky, její tvar a vzhled lze třídit (dělit) do skupin. Například společnost SECO Tools A.B. třídí vzniklé třísky do 9 skupin (obr. 5.17). Skupina 1 až 5 představuje nevyhovující tvary třísek, skupina 6 až 9 vyhovující tvary třísek.



Obr. 5.17 Zatřídění třísek podle společnosti SECO Tools A.B. [28]

Jiný pohled na charakteristiku třísky, tedy vzhled, tvar a členitost představuje členění na obrázku 5.18. [29]



Obr. 5.18 Základní druhy tvářených třísek při obrábění [29]

- a) plynulá článkovitá soudržná tříska; b) plynulá soudržná lamelová tříska;
- c) tvářená elementární tříska; d) nepravidelně článkovitá plynulá tříska;
- e) tvářená plynulá soudržná tříska; f) dělená segmentová tříska;
- g) plynulá segmentová tříska

5.2.1.6 Vlastnosti nástroje v řezu

Vlastnosti nástroje při chodu v řezu jsou charakterizovány vznikem hlučnosti, vibrací a chvění. Všechny tři zmiňované vlastnosti jsou pro proces obrábění nepříznivé a snažíme se je maximálně eliminovat jednak vhodnou volbou záběrových podmínek, tak i řezných podmínek. Základním předpokladem eliminace nepříznivých jevů při frézování je existence dostatečné tuhosti celé soustavy stroj-obrobek-nástroj.

Ta totiž největší měrou ovlivňuje vznik a trvání chvění a vibrací. Řádné upnutí obráběného materiálu ke stolu stroje, tuhost uložení, komplexní pohled na kvalitativní stav strojního vybavení, přímo úměrné vyložení a správná volba velikosti nástroje nám zajistí ideální podmínky pro hladký průběh celého procesu obrábění. Při frézování pracuje břit (ostří) frézy téměř vždy v režimu přerušovaného řezu. Během otáčky nástroje vniká každý břit minimálně jedenkrát do obrobku a jedenkrát ze záběru vychází. V okamžiku vniknutí břitu do obrobku je tento břit vystaven intenzivnímu mechanickému rázu, který vyvolává jeho mechanické namáhání v bezprostřední blízkosti ostří. Tento ráz může při nevhodně zvolených záběrových podmínkách vyvolat křehké porušení břitu a to buď ve formě lomu, nebo vydrolením ostří. [11]

5.2.1.7 Otěr nástroje

Konstrukční a geometrické řešení tvaru a velikosti zubové mezery ve velké míře ovlivňuje velikost a vznik otěru nástroje v řezu. Obecně můžeme konstatovat, že především správná volba základního materiálu tělesa nástroje, jeho následné tepelné zpracování a finální úprava (tab. 5.16) má za následek eliminaci nepříznivého vlivu otěru odcházející třísky z místa řezu jak na těleso samotné, tak na jeho hlavní funkční plochy. Jakost základního materiálu je volena tak, aby po vyrobení a následném tepelném zpracování měl nástroj houževnaté jádro a otěruvzdorný povrch. K otěru nástroje, frézy dochází prakticky při každém kontaktu odcházející třísky z místa řezu. Ve velké míře je velikost zubové mezery dána konstrukčním řešením upnutí VBD v nástroji samotném. Počty zubů a tedy i jednotlivé velikosti zubových mezer jsou naopak voleny podle budoucího použití nástroje v praxi. Tvar a velikost zubové mezery musí zajistit dostatečný prostor pro odebranou třísku z místa řezu a dále zaručit, aby takto odebraná tříska nikterak nemohla poškodit samotnou VBD a její případné upínací prvky (klín, šroub, apod.). Další důležitou vlastností a zubové mezery je zajistit prostor pro transport odebrané třísky z místa řezu. [30]

Tab. 5.16 Porovnání technologií finálních úprav [31]

Parametr	Niklování	Černění
Tloušťka vrstvy (μm)	20 ÷ 50	2 ÷ 5
Tvrdość vrstvy (HV)	800 +/- 50	-

5.2.1.8 Rozsah posuvů na zub f_z

Obecně je velikost, tzn. interval rozsahu posuvů na zub f_z dán tvarem, velikostí a geometrií nástroje a VBD. Stanovování rozsahu posuvů vychází především z geometrie a velikosti fazetky na hlavním ostří VBD. Hlavní funkcí fazetky je zpevňovat řeznou hranu – ostří. Její velikost z hlediska šířky, je rovněž parametr pro použití minimálního posuvu na zub $f_{z\min}$. Frézování s posuvem na zub pod $f_{z\min}$ je ostří vystavováno namáhání, které nemusí ostří ustát. Je proto důležité, aby hodnota minimálního posuvu $f_{z\min}$ byla ze strany uživatele respektována. Jako omezení horní hranice použití maximálního posuvu na zub $f_{z\max}$ mohou být následující kritéria:

- charakteristika třísky – její tvar (např. přetvářená tříska), velikost, barva, aj.,
- drsnost povrchu Ra – požadovaná, případně dosahovaná,
- velikost a tvar zubové mezery – množství třísek, průběh vyprazdňování aj.,
- výkon stroje – maximální proudová zátěž,
- tuhost soustavy – stroj-obrobek-nástroj s důrazem na upnutí obrobku,
- opotřebení ostří VBD – trvanlivost (rychlost a průběh), řezivost.

5.2.1.9 Axiální hloubka řezu $a_{p \max}$

Během procesu frézování dochází k velkým silovým namáháním nejen samotného nástroje, ale i stroje a jeho konstrukčních celků. Způsob a kvalita upnutí obrobku, vyložení vřetene a pinoly nejvíce ovlivňují maximální hloubku řezu. Použití nástroje – frézy v řezu při axiální hloubce řezu $a_{p \max}$ tedy předpokládá splnění určitých podmínek, kterými jsou:

- dostatečný výkon na vřetení stroje,
- tuhost a způsob upnutí,
- délka vyložení vřetene, případně pinoly ze stroje,
- jakost obráběného materiálu,
- stav a kvalita povrchu obráběného materiálu (okuje, svary, kůra, aj.),
- charakter operace frézování (hrubování, polohrubování, dokončování),
- záběrové podmínky (poměr a_e / D ; sousledné a nesousledné frézování).

Z výše uvedených podmínek, které ovlivňují použití a využití samotného nástroje při axiální hloubce řezu $a_{p \max}$ je mnoho.

5.2.2 Zkoušky obrábění u vybraných zákazníků

Zkoušky obrábění u vybraných zákazníků si vždy kladou za cíl provést ověření a porovnání dosažených výsledků z laboratorních testů ze zkušebny obrábění s praxí. Praktické nasazení obráběcích nástrojů umožňuje blíže se seznámit s reálnými podmínkami té dané strojírenské výroby, technické základny, úrovně a vybavení strojního parku, způsobem a volbou záběrových a řezných podmínek v závislosti na jakosti obráběného materiálu. Vybraná skupina zákazníků vždy představuje vzorek konečného portfolia potenciálních zákazníků pro užívání daného typu a konstrukce frézovacího nástroje. Zákazník je vždy předem informován o rozsahu a cílech zkoušek obrábění. Vybraný zákazník je volen podle kritérií, kterými jsou:

- vybavení strojního parku (typ, stav a velikost strojního parku),
- druhová skladba polotovarů (odlitky, výkovky, svařence, formy),
- materiálová skladba polotovarů (oceli, litiny, korozivzdorné oceli, apod.),
- frézovací operace (dokončování, polohrubování, hrubování),
- způsoby obrábění (rovinné frézování, tvarové frézování, frézování kapes).

Zkoušky obrábění u vybraných zákazníků nespočívají jen v provedení ověření funkčnosti prototypového nástroje, ale rovněž i provedení porovnávacích zkoušek obrábění vůči stávajícím nástrojům, nástrojům starší generace, případně nástrojům konkurenčním. Porovnávání se stávajícími nástroji používanými zákazníkem na dané operace frézování je prováděno s novými nástroji (prototypy) pro získání výsledků zkoušek z hlediska produktivity práce, snížení strojních časů, poměru velikosti odebraného množství materiálu za jednotku času, zvýšení či snížení trvanlivosti a životnosti VBD.

5.3 Řezné vlastnosti prototypu

Informace o řezných vlastnostech frézovacích nástrojů získáváme z průběhu, a z dosažených výsledků řezných zkoušek. Jedná se o vlastnosti, kterými jsou:

- hodnoty trvanlivosti nástroje T (min), respektive VBD,
- hodnoty řezivosti nástroje K (%), respektive VBD,
- velikosti složek řezných sil při frézování F_v, F_t, F_z, F_n , (N),
- hodnoty dosažených jakostí obrobene plochy Ra (μm),
- hodnoty velikosti odebraného objemu materiálu Q ($\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$).

Výše uvedené parametry lze kvalitativně a kvantitativně hodnotit pouze z výsledků řezných zkoušek, které jsou založeny na principu porovnávání řezných zkoušek s adekvátní konkurencí. Pro účely získání výsledků řezných vlastností prototypu frézovacího nástroje je nutné přiřadit do souboru řezných zkoušek zpravidla stávající nástroj stejné skupiny. Podobná geometrie, stejná velikost nástroje (řezného průměru D) a stejného způsobu použití v daných operacích frézování jsou základními předpoklady pro získání plnohodnotných informací o řezných vlastnostech nástroje.

5.3.1 Zkoušky obrábění na zkušebně

Základními zkouškami obrábění na zkušebně Pramet Tools jsou zkoušky trvanlivosti T a řezivost K pro daný typ a geometrii VBD. Před zahájením řezných zkoušek jsou pečlivě vybrány vzorky VBD příslušných geometrií, u kterých jsou proměřeny následující základní rozměrové parametry:

- a) šířka čelní fazetky t ,
- b) poloměr zaoblení řezné hrany R_ϵ .

5.3.1.1 Zkoušky trvanlivosti T a řezivosti K

Cílem zkoušek trvanlivosti obrábění je získat skutečné hodnoty o trvanlivosti řezné hrany při reálném procesu obrábění. [22] Řezné zkoušky na stanovení trvanlivosti a řezivosti jsou opět standardně prováděny na etalonových materiálech; oceli jakosti 12 050 (C45), korozivzdorné oceli jakosti 17 349 (X2 CrNiMo 17-12-2) a šedé litině jakosti 42 2425 (GG25) za předem stanovených řezných podmínek. Zkoušky trvanlivosti obrábění se provádějí podle normy ČSN-ISO 8688-1. [33] Parametry řezných podmínek jsou voleny s ohledem:

- na obráběný materiál – jeho jakost (ocel, litina),
- na řezné prostředí – s použitím procesní kapaliny nebo bez ní,
- na geometrii VBD a typem utvařeče – doporučený rozsah posuvů na zub f_z ,
- na materiálem VBD – typ slinutého karbidu (substrátu) a povlaku.

Základním požadavkem na zkoušku trvanlivosti ostří VBD je čas, po který musí ostří pracovat v řezu. Tímto limitním časem pro frézovací VBD je hodnota trvanlivosti $T = 30$ minut. Na základě tohoto požadavku je i volena velikost řezné rychlosti v_c , která se největším způsobem podílí na dosaženou trvanlivost ostří s ohledem na volbu posuvu na zub f_z , axiální hloubky řezu a_p a radiální hloubky řezu a_e . Porovnávací zkoušky obrábění na zkušebně Pramet, jsou vždy prováděny s nástrojem (frézou), která je osazena pouze jednou destičkou příslušného typu. Každá geometrie destičky je odzkoušena minimálně na dvou vzorcích destiček. V případě vysokého rozptylu hodnot opotřebení, je dodatečně odzkoušena další destička. V průběhu zkoušek trvanlivosti obrábění, jsou destičky po určitém časovém intervalu, který je zpravidla dán délkou obráběné plochy (tzn. dráhou průjezdu), pravidelně měřeny na opotřebení na hřbetě a na špičce destičky. Jedná se o následující parametry:

- velikost rovnoměrného opotřebení na hlavním hřbetě bříty – hodnota VB_B ,
- velikost rovnoměrného opotřebení na vedlejším hřbetě bříty – parametr VB_V ,
- velikost opotřebení na hřbetě bříty v části poloměru špičky z pohledu na hlavní hřbet – parametr VB_C .

Opotřebení je měřeno na mikroskopu např. dílenském. Průběžně jsou rovněž pořizovány i snímky (detailní fotografie) opotřebení na destičkách. Kritériem trvanlivosti řezného ostří podle normy ČSN-ISO 8688-1 je dosažení hodnoty opotřebení na hřbetě $VB_B = 0,3$ mm.

5.3.1.2 Řezné síly při různých axiálních hloubkách řezu a_p

Velikosti řezných sil závisí na celkové geometrii frézovacího nástroje při procesu obrábění. Řezné síly při frézování vznikají při procesu odebrání obráběného materiálu ostřím nástroje, který je těmito silami namáhán především na ohyb. Hodnoty velikostí řezných sil ovlivňuje:

- jakost obráběného materiálu (tvrdost, stav materiálu),
- řezné prostředí (s procesní kapalinou či bez ní),
- řezné podmínky (v_c, f_z, a_p, a_e),
- tuhost celé soustavy Stroj – Obrobek – Nástroj.

Řezné síly při frézování nejčastěji měříme pomocí dynamometrů. Pro měření řezných sil je na zkušebně obrábění Pramet k dispozici tříkanálový dynamometr od firmy KISTLER typ 9265A2 (obr. 5.19). Tímto přístrojem je možné měřit složky řezných sil F_x, F_y, F_z . Výstupní signály z tříkanálového dynamometru jsou převáděny převodníkem signálu – Nábojovým zesilovačem typ 5006, do pracovní stanice (obr. 5.19, vpravo). Tyto signály jsou následně zpracovány pomocí software DynoWare, který vstupní signály převede do grafického zobrazení průběhu naměřených hodnot [34]



Obr. 5.19 Měření řezných sil

(vlevo – tříkanálový dynamometr KISTLER typ 9265A2 s upínací deskou typ 9443;
vpravo – nábojový zesilovač typ 5006 + PC stanice)

Základní technická data tříkanálového dynamometru KISTLER typu 9265A2 jsou uvedeny v tabulce 5.17.

Tab. 5.17 Základní technická dynamometru KISTLER typ 9265A2 [35]

Název	Velikost
Dynamometr 9265A2	0 ... 15 000 N
Parametr dynamometru F_x	0 ... 15 000 N
Parametr dynamometru F_y	0 ... 15 000 N
Parametr dynamometru F_z	0 ... 30 000 N
Citlivost F_x	-8,00 pC/N
Citlivost F_y	-7,81 pC/N
Citlivost F_z	-3,57 pC/N
Provozní teplota	0 ... 70°C
Výrobce	Kistler Instrumente AG, Schweiz

Měření řezných sil je možno provádět frézou osazenou buď pouze jednou destičkou, nebo frézou plně osazenou. Hloubka řezu při měření řezných sil je volena s ohledem na velikost nástroje, parametry dynamometru (typ a velikost) a dále na tuhosti upnutí, a tuhosti jako celku - celé soustavy S-O-N. Řezné podmínky pro měření velikosti řezných sil se volí s ohledem na velikost obrobku, který je automaticky přizpůsoben velikosti dynamometru, a dále s ohledem na bezpečnost práce. Nejvýraznější hodnotou volenou při měření velikosti řezných sil je posuv na zub f_z . Hodnota posuvu na zub f_z je volena s ohledem na testované typy VBD, geometrie a jejich doporučené rozsahy posuvů na zub f_z podle jejich konstrukce.

5.3.1.3 Požadovaný příkon stroje P

Předchozí kapitola 5.3.1.2 řešila měření řezných sil při různých axiálních hloubkách řezů a na frézách osazených buď jednou VBD nebo frézami plně osazenými VBD. V uvažovaném rozložení řezných sil, působí maximální silou na jednu VBD složka řezné síly F_t , která vyvolává maximální krouticí moment M_k , podle rovnice 5.1:

$$M_k = F_t \cdot \frac{D_{ef}}{2} \quad (\text{Nm}) \quad (5.1)$$

Požadovaný příkon stroje P lze vypočítat ze složky řezné síly F_t a řezné rychlosti v_c rovnice 4.2:

$$P = F_t \cdot v_c \quad (\text{W}) \quad (5.2)$$

Tangenciální složku řezné síly F_t lze analyzovat z naměřených hodnot řezných sil.

5.3.1.4 Odebraný objem materiálu Q

Odebraný objem materiálu Q je měřítkem pro vyjádření produktivity práce nástroje z hlediska strojních časů. Prakticky se jedná o schopnost nástroje odebrat určité množství materiálu za jednotku času. Odebraný objem materiálu Q se počítá z parametrů řezných podmínek podle rovnice 5.3:

$$Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot f_{min}}{1000} \quad (\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}) \quad (5.3)$$

Celkový odebraný objem materiálu Q_c lze vypočítat z odebraného objemu materiálu Q a dosažené hodnoty trvanlivosti T podle rovnice 5.4:

$$Q_c = Q \cdot T \quad (\text{cm}^3) \quad (5.4)$$

Výpočet odebraného objemu materiálu je rovněž možno stanovit z parametrů funkčních zkoušek obrábění. Takto vypočítané hodnoty představují objem odebraného materiálu pouze v teoretické rovině, neboť skutečný objem odebraného materiálu se odvíjí od dosažené trvanlivosti jedné řezné hrany.

5.3.1.5 Drsnost obrobené plochy

Obrobená plocha není v žádném případě ideálně hladká a vykazuje vždy určitý stupeň drsnosti, který je určen mikronerovnostmi vzniklými při obrábění. Druh a stupeň drsnosti závisí na způsobu obrábění, na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu, na jakosti, tvaru a geometrii břitu, na řezných podmínkách (velikosti posuvu f a na řezné rychlosti v_c). Stupeň drsnosti určujeme zásadně ve směru největší drsnosti. [36] Měření drsnosti povrchu obrobených ploch se v praxi nejčastěji provádí porovnávacími měrkami a pro přesnější stanovení drsnosti obrobené plochy je možno použít mobilní měřicí přístroje na měření drsnosti, tzv. drsnoměry.



Obr. 5.20 Přístroj na měření drsnosti HOMMEL TESTER T500

Tab. 5.18 Technické parametry drsnoměru HOMMEL TESTER T500 [37]

Název parametru	Hodnota
Parametry měření podle DIN 4777, ISO 4287, JIS B601	Ra, Rz, R_{max} ,
Celková délka měřeného úseku L_t (mm)	1,5 ; 4,8 ; 15,0
Rychlost snímání v_t (mm/s)	0,15; 0,5 ; 1,0
Třída přesnosti	třída 1, dle DIN 4772
Systém měření	μm ; $\mu inch$
Rozhraní	RS-232
Napájení	9 V
Rozměr (délka x šířka x výška); (mm)	118 x 56 x 62

Drsnost obrobené plochy je možno měřit na různých obráběných materiálech po obrobení povrchu ať již standardními destičkami, nebo po obrobení povrchu s hladicí destičkou. Principiálně se po každém průjezdu nástroje obrobkem měří drsnost obrobené plochy mobilním drsnoměrem (obr. 5.20), zpravidla ve třech místech plochy obrobku (na začátku, uprostřed a na konci obrobku), a to ve směru trajektorie posuvu f . Technické parametry drsnoměru Hommel Tester T500 jsou uvedeny v tabulce 5.18.

5.3.2 Zkoušky obrábění u vybraných zákazníků

Základním posláním zkoušek obrábění u zákazníků je ověření a porovnání dosažených výsledků řezných zkoušek ze zkušebny obrábění. Volbu řezných podmínek u zákazníků je nutno volit s ohledem na druh obráběného materiálu, stav strojního zařízení, na kterém se zkoušky obrábění mají konat a s ohledem na velikost a tuhost obrobku. Průběh a podmínky řezných zkoušek u zákazníků je nezbytné důsledně zaznamenat do formuláře z řezných zkoušek. Příklady záznamů ze zkoušek obrábění jsou uvedeny v Příloze č. 10.

6 Experimentální ověření metodiky testování prototypů

Experimentální ověření metodiky testování prototypů jsou zaměřeny na praktickém ověření návrhů postupů a metodiky uvedené v kapitole 4 (a jejich následujících podkapitol). Předmětem experimentálního ověření metodiky jsou prototypové nástroje a VBD nového prototypu hrubovací frézy typové řady s označením F60SN17X a destiček typu SNMR 1706DZSR.

6.1 Rozměrové vlastnosti prototypů fréz a VBD

Výkres sestavy celé rozměrové řady fréz typu F60SN17X, včetně základních rozměrů je uveden v Příloze č. 1. Měření základních rozměrů se týká prototypových fréz s označením:

- 160C10R-F60SN17X-1, 160C10R-F60SN17X-2, 160C10R-F60SN17X-3,
- 200C12R-F60SN17X-1, 200C12R-F60SN17X-2, 200C12R-F60SN17X-3.



Obr. 6.1 Měřený sortiment
(vlevo – fréza 160C10R-F60SN17X-2; uprostřed – fréza 200C12R-F60SN17X-2;
vpravo - Etalonová destička typu SNMR 1706DZSR-M; 8230)

Prototypové frézy byly proměřeny s etalonovou VBD. Etalonová destička (obr. 6.1, vpravo) s typovým označením SNMR 1706DZSR-M; 8230 s identifikačním číslem 104/2008/W5 (JKV 96002248; 04272729-3498).

6.1.1 Měření základních rozměrů u fréz

Proměření základních rozměrů u fréz bylo provedeno podle kapitoly 5.1.1 na prototypových frézách s označením: 160C10R-F60SN17X-1, 160C10R-F60SN17X-2, 160C10R-F60SN17X-3, 200C12R-F60SN17X-1, 200C12R-F60SN17X-2 a 200C12R-F60SN17X-3.

6.1.1.1 Řezný průměr D

Řezné průměry D na všech prototypových frézách byly proměřeny podle kapitoly 4.1.1.1 s použitím etalonové destičky (obr. 6.1) na vertikálním seřizovacím přístroji BMD 465v (obr. 6.2). Naměřené hodnoty řezných průměrů D jsou uvedeny v tabulce 6.1 a jsou v souladu s výkresovou dokumentací a povolenými tolerancemi rozměrů.



Obr. 6.2 Měření řezného průměru D pomocí přístroje BMD 465v

Tab. 6.1 Naměřené hodnoty řezných průměrů D

Rozměr frézy	Požadovaný rozměr D (mm)	Fréza č. 1	Fréza č. 2	Fréza č. 3
D 160 mm	$200 \pm 0,575$ (199,425 až 200,575)	200,053	200,113	200,049
D 200 mm	$160 \pm 0,500$ (159,500 až 160,500)	160,213	160,101	160,145

6.1.1.2 Výška frézy L

Výšky nástrojů - fréz L byly proměřeny podle kapitoly 5.1.1.2 na měřicím přístroji DIGIMAR CX1/DX1 (obr. 6.3). Naměřené hodnoty výšek nástrojů L jsou uvedeny v tabulce 6.2 a jsou u všech prototypových fréz v souladu s výkresovou dokumentací a povolenými tolerancemi.



Obr. 6.3 Měření výšky nástroje L u prototypové frézy $D = 160$ mm
(vlevo – měřicí přístroj; vpravo – naměřená hodnota; detail na měřicí dotek)

Tab. 6.2 Naměřené hodnoty výšky nástroje L

Rozměr frézy	Požadovaný rozměr L (mm)	Fréza č. 1	Fréza č. 2	Fréza č. 3
$D\ 160\ \text{mm}$	$63 \pm 0,150$ (62,850 až 63,150)	63,105	63,100	63,100
$D\ 200\ \text{mm}$	$63 \pm 0,150$ (62,850 až 63,150)	63,133	63,140	63,128

6.1.1.3 Upínací otvor d_1

Upínací otvory d_1 u prototypových fréz byly proměřeny podle kapitoly 5.1.1.3 s pomocí přesného tří-dotekového dutinoměru HOLTEST MITUTOYO (obr. 6.4). Naměřené hodnoty upínacích otvorů nástrojů d_1 jsou uvedeny v tabulce 6.3 a jsou v souladu s výkresovou dokumentací a povolenými tolerancemi.



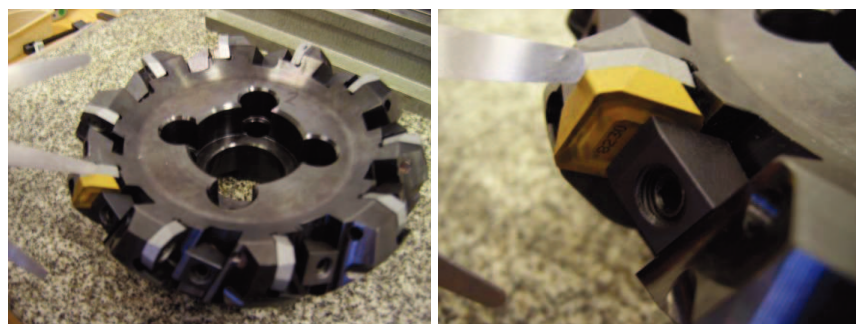
Obr. 6.4 Měření upínacího otvoru d_1 u prototypové frézy $D = 160\ \text{mm}$

Tab. 6.3 Naměřené hodnoty upínacího otvoru d_1

Rozměr frézy	Požadovaný rozměr d_1 (mm)	Fréza č. 1	Fréza č. 2	Fréza č. 3
$D\ 160\ \text{mm}$	60 G7 (60,010 až 60,040)	60,018	60,013	60,015
$D\ 200\ \text{mm}$	40 G7 (40,009 až 40,034)	40,018	40,015	40,034

6.1.1.4 Dotah a

Velikost dotahu a byla proměřena podle kapitoly 5.1.1.4 s pomocí spárové kalibrační měrky (obr. 6.5). Etalonové destička je vložena do lůžka frézy, upnuta a utažena momentovým klíčem s velikostí momentu odpovídajícím velikosti průměru upínacího šroubu. Měřený dotah musí být menší než 0,03 mm. Naměřené hodnoty dotahu a jsou uvedeny v tabulce 6.4.



Obr. 6.5 Měření dotahu a u prototypové frézy $D = 160\ \text{mm}$
(vlevo – měřená fréza; vpravo – detail měřeného místa)

Tab. 6.4 Naměřené hodnoty dotahu *a*

Rozměr frézy	Požadovaný rozměr <i>a</i> (mm)	Fréza č. 1	Fréza č. 2	Fréza č. 3
<i>D</i> 160 mm	< 0,03	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
<i>D</i> 200 mm	< 0,03	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje

Porovnávacím měřením bylo zjištěno, že všechny frézy a jejich jednotlivá lůžka jsou v pořádku a vyhovují požadavku < 0,03 mm.

6.1.1.5 Tvrdost tělesa frézy

Tvrdosti těles prototypových fréz byly měřeny podle kapitoly 5.1.1.5 na tvrdoměru ROCKWELL RB1. Místem měření byla vždy čelní plocha tělesa frézy (obr. 6.6). Naměřené hodnoty tvrdosti těles fréz jsou uvedeny v tabulce 6.5 a jsou v požadovaném dovoleném rozsahu.



Obr. 6.6 Měření tvrdosti u prototypové frézy *D* = 160 mm

Tab. 6.5 Naměřené hodnoty tvrdostí těles fréz

Rozměr frézy	Požadovaná hodnota (HRC)	Fréza č. 1	Fréza č. 2	Fréza č. 3
<i>D</i> 160 mm	38 ÷ 42	38,0	40,3	38,5
<i>D</i> 200 mm	38 ÷ 42	40,0	41,3	40,8

Naměřené hodnoty tvrdostí u všech fréz jsou v pořádku a vyhovují požadavku a jsou v požadovaném rozsahu.

6.1.2 Měření základních rozměrů u standardních VBD

Měření základních rozměrů u standardních VBD (kapitola 5.1.2) bylo provedeno na prototypových výrobních dávkách VBD:

- SNMR 1706DZSR-M z materiálu 8230 v počtu 160 kusů (obr. 6.7),
- SNMR 1706DZSR-M z materiálu 8026T v počtu 160 kusů,
- SNMR 1706DZSR-R z materiálu 8230 v počtu 160 kusů,
- SNMR 1706DZSR-R z materiálu 8026T v počtu 160 kusů.



Obr. 6.7 Prototypová výrobní dávka VBD typu SNMR 1706DZSR-M; 8230

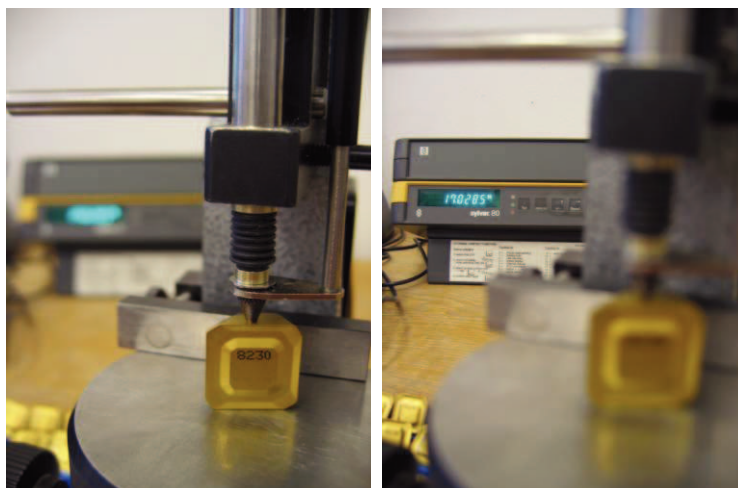
6.1.2.1 Vepsaná kružnice d

Měření vepsané kružnice d podle kapitoly 5.1.2.1 u vzorků destiček s přednastaveným jmenovitým rozměrem, je uvedeno na obrázku 6.8 a obrázku 6.9. Naměřené hodnoty pro jednotlivé typy VBD jsou uvedeny v přílohách následovně:

- pro destičky SNMR 1706DZSR-M; 8230 v Příloze č. 5,
- pro destičky SNMR 1706DZSR-M; 8026T v Příloze č. 6,
- pro destičky SNMR 1706DZSR-R; 8230 v Příloze č. 7,
- pro destičky SNMR 1706DZSR-R; 8026T v Příloze č. 8.



Obr. 6.8 Pracoviště pro měření vepsané kružnice d



Obr. 6.9 Měření vepsané kružnice d ; strana destičky „x“
(vlevo - detail na dotyk měřicího přípravku; vpravo - detail naměřené hodnoty)

6.1.2.2 Výška destičky s

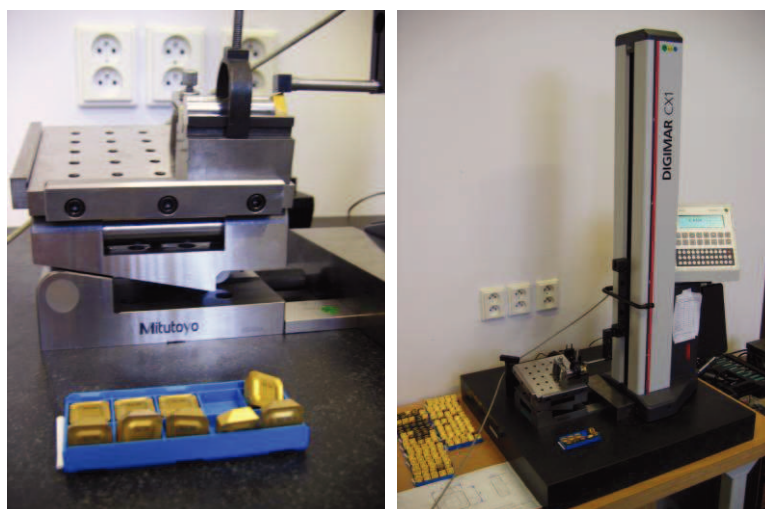
Měření výšky s destiček bylo provedeno podle kapitoly 5.1.2.2. Naměřené hodnoty pro jednotlivé typy VBD jsou uvedeny v přílohách takto:

- pro destičky SNMR 1706DZSR-M; 8230 v Příloze č. 5,
- pro destičky SNMR 1706DZSR-M; 8026T v Příloze č. 6,
- pro destičky SNMR 1706DZSR-R; 8230 v Příloze č. 7,
- pro destičky SNMR 1706DZSR-R; 8026T v Příloze č. 8.

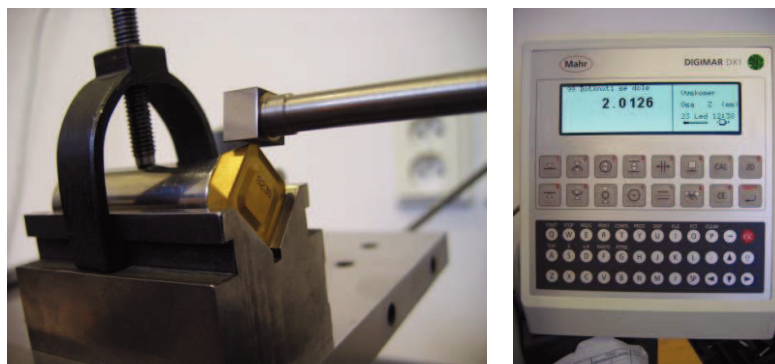
6.1.2.3 Parametr m'

Měření parametru m' destiček (obr. 6.10, 6.11) bylo provedeno podle kapitoly 5.1.2.3. Naměřené hodnoty pro jednotlivé typy VBD jsou uvedeny v přílohách takto:

- pro destičky SNMR 1706DZSR-M; 8230 v Příloze č. 5,
- pro destičky SNMR 1706DZSR-M; 8026T v Příloze č. 6,
- pro destičky SNMR 1706DZSR-R; 8230 v Příloze č. 7,
- pro destičky SNMR 1706DZSR-R; 8026T v Příloze č. 8.

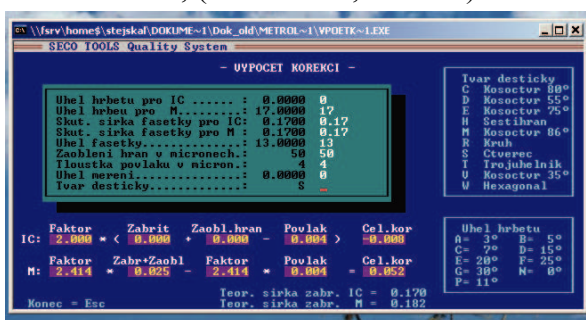


Obr. 6.10 Měření parametru m'
(vlevo - přesná sinusová deska MITUTOYO; vpravo - výškoměr DIGIMAR CX1/DX1)



Obr. 6.11 Detail měření parametru m'
(vlevo – měřicí dotyk na destičce; vpravo – displej měřicího přístroje DIGIMAR DX1)

Výpočet korekčního součinitele k_m podle kapitoly 5.1.2.3 je uveden na obrázku 6.12. Vypočítaná hodnota, (Cel.kor = 0,052 mm).



Obr. 6.12 Náhled na výpočet korekčního součinitele k_m pro standardní VBD

6.1.2.4 Šířka čelní fazetky t

Měření velikosti – šířky čelních fazetek t u vzorků VBD bylo provedeno podle kapitoly 5.1.2.4. Naměřené hodnoty velikostí fazetek t jsou uvedeny v tabulce 6.6.

Tab. 6.6 Tabulka naměřených hodnot fazetek t (mm)

Označení VBD	Číslo řezné hrany - bříty	VBD č. 1	VBD č. 2	VBD č. 3	VBD č. 4
SNMR 1706DZSR-M; 8230	č. 1	0,155 mm	0,166 mm	0,161 mm	0,175 mm
	č. 2	0,163 mm	0,152 mm	0,158 mm	0,160 mm
	č. 3	0,153 mm	0,156 mm	0,156 mm	0,164 mm
	č. 4	0,157 mm	0,165 mm	0,167 mm	0,160 mm
SNMR 1706DZSR-R; 8230	č. 1	0,243 mm	0,228 mm	0,230 mm	0,222 mm
	č. 2	0,260 mm	0,250 mm	0,256 mm	0,250 mm
	č. 3	0,242 mm	0,264 mm	0,270 mm	0,265 mm
	č. 4	0,228 mm	0,231 mm	0,245 mm	0,240 mm
SPKN 1504EDSR; 8230	č. 1	0,200 mm	0,176 mm	0,188 mm	0,190 mm
	č. 2	0,186 mm	0,168 mm	0,162 mm	0,174 mm
	č. 3	0,181 mm	0,174 mm	0,157 mm	0,173 mm
	č. 4	0,199 mm	0,180 mm	0,175 mm	0,179 mm
SPKR 1504EDSR; 8230	č. 1	0,212 mm	0,226 mm	0,191 mm	0,229 mm
	č. 2	0,218 mm	0,217 mm	0,228 mm	0,224 mm
	č. 3	0,212 mm	0,208 mm	0,241 mm	0,200 mm
	č. 4	0,203 mm	0,208 mm	0,230 mm	0,221 mm

Předepsané hodnoty (dané výkresovou výrobní dokumentací) velikosti fazetek t pro námi řešené typy VBD jsou uvedeny v tabulce 6.7.

Tab. 6.7 Předepsané velikosti fazetek t podle výrobní dokumentace VBD

Označení VBD (ISO)	Velikost fazetky t (mm)	HMR t (mm)	DMR t (mm)
SNMR 1706DZSR-M	$0,170 \pm 0,03$	0,200	0,140
SNMR 1706DZSR-R	$0,255 \pm 0,03$	0,285	0,225
SPKN 1504EDSR	$0,16 \pm 0,04$	0,200	0,120
SPKR 1504EDSR	$0,15 \pm 0,04$	0,190	0,110

6.1.2.5 Zaoblení řezné hrany R_ϵ

Měření velikosti zaoblení řezné hrany R_ϵ bylo provedeno podle kapitoly 5.1.2.5. Naměřené hodnoty velikostí zaoblení řezných hran R_ϵ včetně odchylek ΔR_ϵ u vybraných vzorků VBD jsou uvedeny v tabulce 6.8.

Tab. 6.8 Naměřené hodnoty zaoblení řezných hran R_ϵ a odchylek ΔR_ϵ

Označení VBD	Číslo řezné hrany - břitu	VBD č. 1 ($R_\epsilon / \Delta R_\epsilon$)	VBD č. 2 ($R_\epsilon / \Delta R_\epsilon$)	VBD č. 3 ($R_\epsilon / \Delta R_\epsilon$)	VBD č. 4 ($R_\epsilon / \Delta R_\epsilon$)
SNMR 1706DZSR-M; 8230	č. 1	47/2 μm	51/1 μm	47/1 μm	69/0 μm
	č. 2	37/1 μm	50/0 μm	45/0 μm	61/0 μm
	č. 3	44/0 μm	49/0 μm	47/0 μm	55/0 μm
	č. 4	43/0 μm	53/2 μm	47/2 μm	57/1 μm
SNMR 1706DZSR-R; 8230	č. 1	53/6 μm	50/6 μm	49/8 μm	51/7 μm
	č. 2	49/15 μm	54/4 μm	49/8 μm	57/5 μm
	č. 3	55/4 μm	65/3 μm	62/6 μm	63/4 μm
	č. 4	53/8 μm	59/4 μm	54/8 μm	56/6 μm
SPKN 1504EDSR; 8230	č. 1	31/4 μm	33/3 μm	32/3 μm	26/4 μm
	č. 2	29/3 μm	33/3 μm	33/5 μm	25/2 μm
	č. 3	29/3 μm	31/3 μm	53/5 μm	30/3 μm
	č. 4	23/2 μm	25/4 μm	30/2 μm	32/5 μm
SPKR 1504EDSR; 8230	č. 1	28/3 μm	32/3 μm	23/3 μm	26/8 μm
	č. 2	21/3 μm	35/3 μm	25/6 μm	14/3 μm
	č. 3	26/5 μm	24/3 μm	28/7 μm	31/3 μm
	č. 4	22/3 μm	27/5 μm	25/6 μm	19/4 μm

Předepsané hodnoty velikostí zaoblení řezné hrany R_ϵ a povolených odchylek ΔR_ϵ jsou stanoveny vnitřním předpisem společnosti Pramet Tools. Pro námi měřené typy VBD jsou uvedeny v tabulce 6.9.

Tab. 6.9 Předepsané poloměry zaoblení řezné hrany R_ϵ a odchylek (distance) ΔR_ϵ

Označení VBD (ISO)	Velikost R_ϵ (μm)	HMR R_ϵ (μm)	DMR R_ϵ (μm)	Odchylka ΔR_ϵ (μm)
SNMR 1706DZSR-M	50 ± 12	62	38	max. 7
SNMR 1706DZSR-R	50 ± 12	62	38	max. 7
SPKN 1504EDSR	30 ± 9	39	21	max. 5
SPKR 1504EDSR	25 ± 9	34	16	max. 5

6.1.3 Měření základních rozměrů u hladících VBD

Měření základních rozměrů podle kapitoly 5.1.3, resp. 5.1.2 bylo provedeno na prototypové výrobní dávce hladících VBD s označením SNKR 1706DZSR z materiálu 8026T v počtu 20 kusů (obr. 6.13).



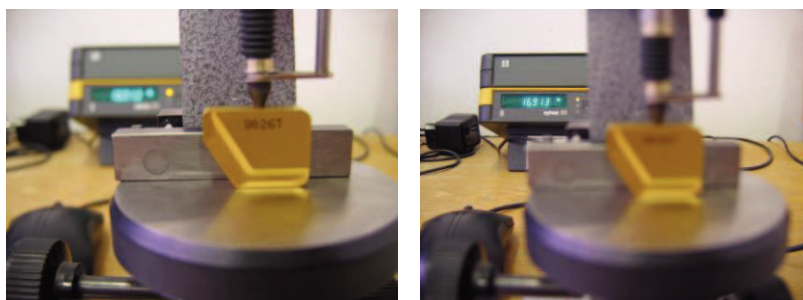
Obr. 6.13 Prototypová výrobní dávka hladících VBD typ SNKR 1706DZSR; 8026T

6.1.3.1 Vepsaná kružnice d

Měření vepsané kružnice d (obr. 6.14, 6.15) bylo provedeno podle kapitoly 5.1.2.1. u vzorků hladících destiček. Naměřené hodnoty vepsané kružnice d pro hladicí destičku typ SNKR 1706DZSR; 8026T jsou uvedeny v Příloze č. 9.



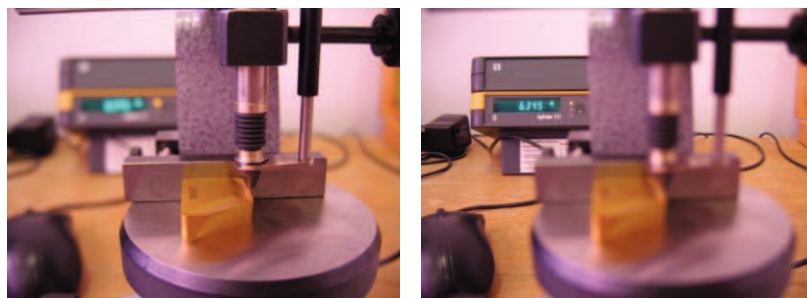
Obr. 6.14 Příprava pracoviště pro měření vepsané kružnice d u hladících VBD



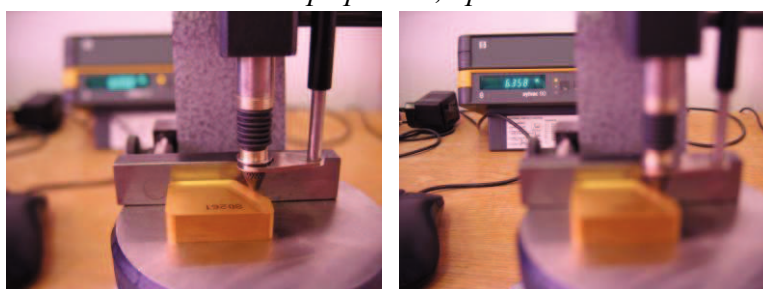
Obr. 6.15 Měření vepsané kružnice d u hladicí VBD
(vlevo – detail na dotek měřicího přípravku; vpravo – detail naměřené hodnoty)

6.1.3.2 Výška destičky s

Měření výšek s a s_1 u hladicích destiček typu SNKR 1706DZSR; 8026T (obr. 6.16, 6.17) bylo provedeno podle kapitoly 5.1.2.2. Naměřené hodnoty výšek s a s_1 jsou uvedeny v Příloze č. 9.



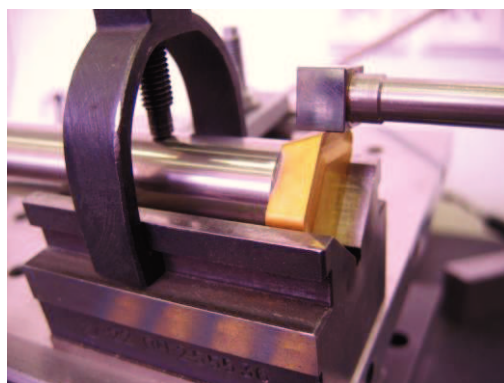
Obr. 6.16 Měření výšky s u hladicí VBD
(vlevo – detail na dotek měřicího přípravku; vpravo – detail naměřené hodnoty)



Obr. 6.17 Měření výšky s_1 u hladicí VBD
(vlevo – detail na dotek měřicího přípravku; vpravo – detail naměřené hodnoty)

6.1.3.3 Parametr m'

Měření parametru m' u hladicích destiček (obr. 6.18) bylo provedeno podle kapitoly 5.1.2.3. Naměřené hodnoty parametru m' pro hladicí VBD typ SNKR 1706DZSR; 8026T jsou uvedeny v Příloze č. 9.



Obr. 6.18 Parametru m' u hladicí VBD
(vlevo - detail měřicího doteku na hladicí VBD; vpravo – náhled na výpočtový program)

Výpočet korekčního součinitele $k_{m'}$ podle kapitoly 5.1.2.3 je uveden na obrázku 6.18. Vypočítaná hodnota, Cel.kor = 0,030 mm.

6.2 Funkční zkoušky obrábění prototypu

Funkčním zkouškám obrábění byly podrobeny prototypy frézovacích nástrojů:

- frézy o průměru $D = 160$ mm v počtu 3 ks:
 - fréza č.1; označení 160C10R-F60SN17X-1,
 - fréza č.2; označení 160C10R-F60SN17X-2,
 - fréza č.3; označení 160C10R-F60SN17X-3,
- frézy o průměru $D = 200$ mm v počtu 3 ks:
 - fréza č.1; označení 200C12R-F60SN17X-1,
 - fréza č.2; označení 200C12R-F60SN17X-2,
 - fréza č.3; označení 200C12R-F60SN17X-3,

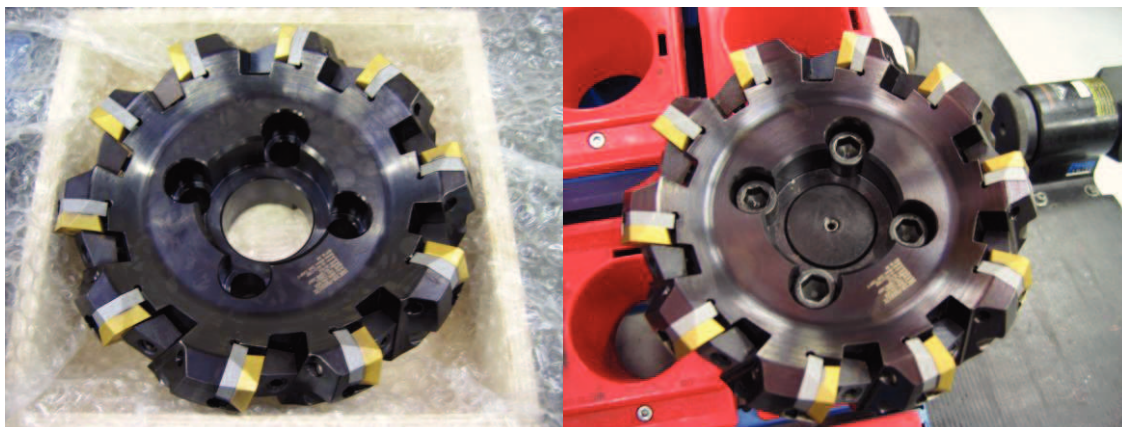
s VBD typu:

- SNMR 1706DZSR-M; 8230, v celkovém počtu 160 kusů,
- SNMR 1706DZSR-M; 8026T, v celkovém počtu 160 kusů,
- SNMR 1706DZSR-R; 8230, v celkovém počtu 160 kusů,
- SNMR 1706DZSR-R; 8026T, v celkovém počtu 160 kusů,
- SNKR 1706DZSR; 8026T, v celkovém počtu 20 kusů.

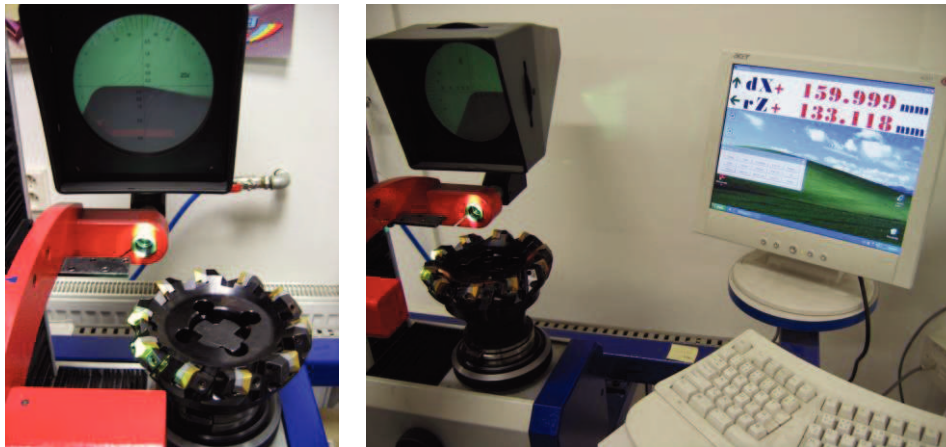
Rozsah funkčních zkoušek obrábění prototypů fréz a VBD dle kapitoly 5.2.

6.2.1 Zkoušky obrábění na zkušebně

Pro odzkoušení námi řešených prototypů fréz a VBD byla použita NC frézka typ FCV 63 SCA, která vyhovovala z hlediska rozsahu potřebného výkonu na vřetení a způsobu upnutí obrobků. Frézovací centrum MCV 1270 Power v tomto případě nebylo pro prototypové zkoušky vhodné. Před zahájením samotných zkoušek obrábění byly prototypové frézy o průměru $D = 160$ mm, osazeny příslušným počtem a typem VBD (obr. 6.19). Po osazení fréz byla provedena kontrola řezného průměru na měřicím přístroji BMD 465v (obr. 6.20), a kontrola a měření výšky nástroje včetně upínače (pozn.: hodnota zjištěná měřením byla zadána do řídicího programu NC stroje – frézky).



Obr. 6.19 Prototypové frézy $D = 160$ mm
(vlevo - 160C10R-F60SN17X-1 + SNMR 1706DZSR-M; 8230;
vpravo - 160C10R-F60SN17X-2 + SNMR 1706DZSR-R; 8230)



Obr. 6.20 Kontrola řezného průměru D u prototypové frézy č. 2 (160C10R-F60SN17X-2 + SNMR 1706DZSR-R; 8230)

6.2.1.1 Zkoušky obrábění na oceli 12 050 (C45)

Zkoušky obrábění byly provedeny na oceli 12 050.1. Pro zkoušku obrábění byly použity prototypové frézy č. 1 a č. 2, průměru $D = 160$ mm, osazené 10 ks VBD typu:

- SNMR 1706DZSR-M; 8230 pro rozsah posuvů $f_z = 0,20$ až $0,40$ mm (fréza č. 1),
- SNMR 1706DZSR-R; 8230 pro rozsah posuvů $f_z = 0,30$ až $0,55$ mm (fréza č. 2).

Na obrobku, polotovaru k obrábění z oceli jakosti 12 050.1 o rozměrech (výška 200 mm, šířka 400 mm a hloubka 400 mm) pro prototypovou frézu č. 1, osazenou VBD typu SNMR 1706DZSR-M; 8230 byla před zahájením zkoušek obrábění proměřena tvrdost obrobku s označením č. 1, a to ve třech různých místech povrchu. Naměřené hodnoty tvrdosti jsou uvedeny v tabulce 6.10.

Tab. 6.10 Naměřené hodnoty tvrdosti obrobku č. 1 (ocel 12 050.1)

Poloha měření (popis)	Tvrdost podle Brinella (HB)
Místo č. 1 – kraj, střed – zleva	198
Místo č. 2 – střed, střed – uprostřed plochy	195
Místo č. 3 – kraj, střed – zprava	192
Průměrná hodnota tvrdosti obrobku	195

Pro prototypovou frézu č. 2, osazenou VBD typu SNMR 1706DZSR-R; 8230 byl rovněž obrobek (polotovar s označením č. 2) k obrábění z oceli jakosti 12 050.1 avšak o rozměrech větších (výška 100 mm, šířka 600 mm a hloubka 200 mm). Před zahájením zkoušek obrábění byla proměřena tvrdost tohoto obrobku na třech různých místech povrchu obrobku tvrdoměrem EQUOTIP. Naměřené hodnoty tvrdosti obrobku č. 2, pro frézu č. 2 osazenou VBD typu SNMR 1706DZSR-R; 8230 jsou uvedeny v tabulce 6.11.

Tab. 6.11 Naměřené hodnoty tvrdosti obrobku č. 2 (ocel 12 050.1)

Poloha měření (popis)	Tvrdost podle Brinella (HB)
Místo č. 1 – kraj, střed – zleva	183
Místo č. 2 – střed, střed – uprostřed plochy	188
Místo č. 3 – kraj, střed – zprava	183
Průměrná hodnota tvrdosti obrobku	185

6.2.1.1.1 Utváření třísky v místě řezu

Zkoušky obrábění na utváření třísky v místě řezu byly provedeny dle kapitoly 5.2.1.3, na oceli 12 050.1 při řezných podmínkách uvedených v tabulce 6.12 pro frézu č. 1 a VBD typu SNMR 1706DSZSR-M a v tabulce 6.13 pro frézu č. 2 a VBD typu SNMR 1706DZSR-R.

Tab. 6.12 Řezné podmínky na oceli 12 050.1 pro VBD - SNMR 1706DZSR-M

Název	Hodnota
Řezná rychlost	$v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky vřetene	$n = 199 \text{ min}^{-1}$
Axiální hloubka řezu	$a_p = 1 \text{ mm}, 2 \text{ mm}, 5 \text{ mm}, 7 \text{ mm}$ a 10 mm
Radiální hloubka řezu	$a_e = 100 \text{ mm}$
Posuv	$f_z = 0,15 \text{ mm}; (f = 298 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,20 \text{ mm}; (f = 398 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,25 \text{ mm}; (f = 497 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,30 \text{ mm}; (f = 597 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,35 \text{ mm}; (f = 696 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,40 \text{ mm}; (f = 796 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,45 \text{ mm}; (f = 895 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,50 \text{ mm}; (f = 995 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$

Pozn.: ŘP pro obrobek č. 1

Tab. 6.13 Řezné podmínky na oceli 12 050.1 pro VBD - SNMR 1706DZSR-R

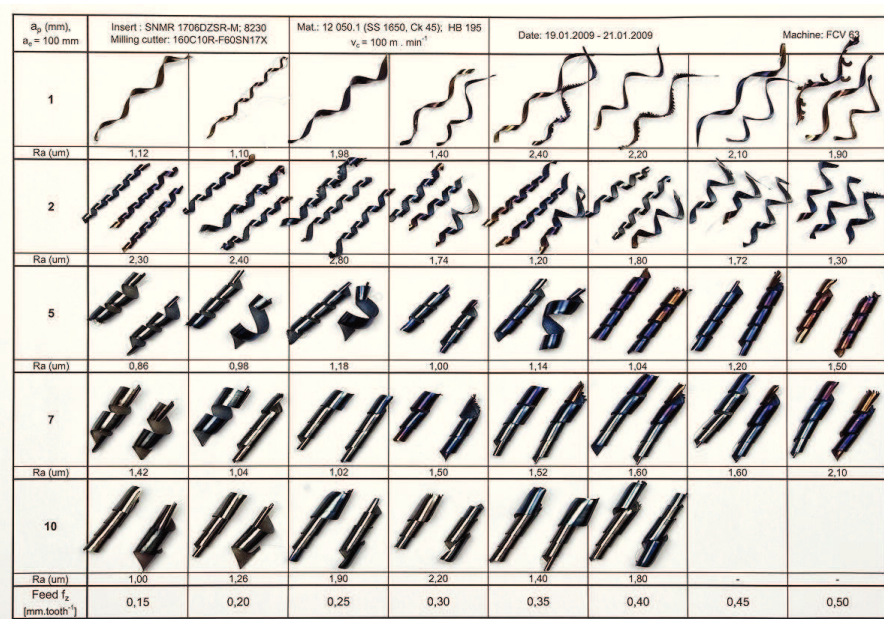
Název	Hodnota
Řezná rychlost	$v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky vřetene	$n = 199 \text{ min}^{-1}$
Axiální hloubka řezu	$a_p = 1 \text{ mm}, 2 \text{ mm}, 5 \text{ mm}, 7 \text{ mm}$ a 10 mm
Radiální hloubka řezu	$a_e = 100 \text{ mm}$
Posuv	$f_z = 0,25 \text{ mm}; (f = 497 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,30 \text{ mm}; (f = 597 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,35 \text{ mm}; (f = 696 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,40 \text{ mm}; (f = 796 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,45 \text{ mm}; (f = 895 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,50 \text{ mm}; (f = 995 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,55 \text{ mm}; (f = 1094 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,60 \text{ mm}; (f = 1194 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,65 \text{ mm}; (f = 1293 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$

Pozn.: ŘP pro obrobek č. 2

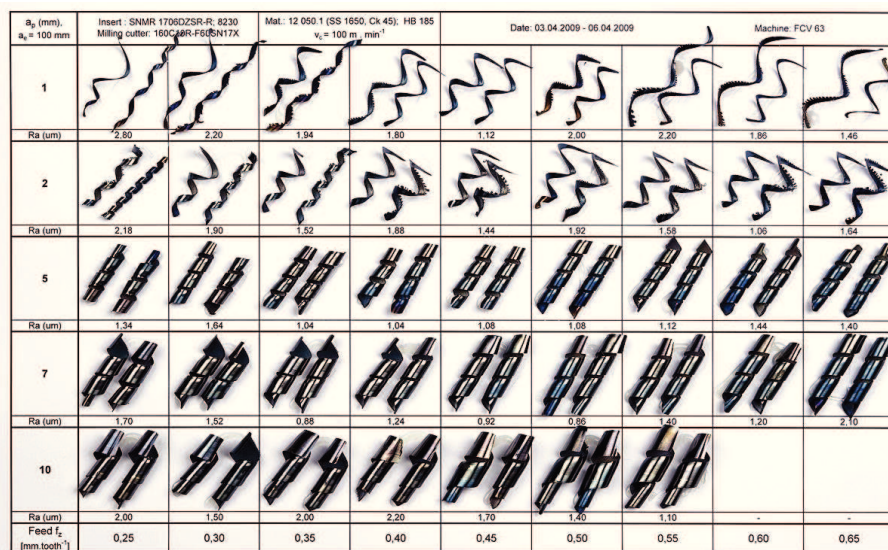
Výsledky řezné zkoušky *utváření třísky* na oceli jakosti 12 050.1 můžeme shrnout do následujících bodů:

- ze souboru řezných zkoušek byly získány utvářecí diagramy pro VBD typu SNMR 1706DZSR-M (obr. 6.21) a VBD typu SNMR 1706DZSR-R (obr. 6.22) při daných řezných podmínkách,
- z utvářecích diagramů je patrné, že se třísky utvářejí do pravidelných tvarů, zachovávají si spirálovitý tvar, jsou stočené a mají charakteristickou tloušťku a šířku danou jednotlivými parametry – axiální hloubky řezu a_p a posuvem na zub f_z ,

- c) rozsah posuvů na zub f_z pro zkoušený typ VBD SNMR 1706DZSR-M, který je dán konstrukcí a geometrií VBD pro stanovený rozsah posuvů na zub $f_z = 0,20$ až $0,40$ mm, je možné rozšířit až na rozsah posuvů na zub $f_z = 0,15$ až $0,50$ mm,
- d) rozsah posuvů na zub f_z pro zkoušený typ VBD SNMR 1706DZSR-R, který je dán konstrukcí a geometrií VBD pro stanovený rozsah posuvů na zub $f_z = 0,30$ až $0,55$ mm, je možné rozšířit až na rozsah posuvů na zub $f_z = 0,20$ až $0,65$ mm,
- e) z hlediska geometrie tvaru VBD v návaznosti na spolehlivost, stabilitu řezu jsou vždy doporučovány původně stanovené rozsahy posuvů na zub f_z ,
- f) obě geometrie, tzn. -M a -R se navzájem ve svých rozsazích posuvů na zub f_z záměrně překrývají (od $f_z = 0,30$ do $0,40$ mm) proto, že je tato oblast nejvíce používaná v produktivních polohrubovacích operacích,
- g) z hlediska požadavku na zvyšování produktivity práce při polohrubovacích operacích frézování nejsou vhodné posuvy na zub $f_z < 0,20$ mm.



Obr. 6.21 Utvářecí diagram třísek VBD typu SNMR 1706DZSR-M - ocel 12 050.1

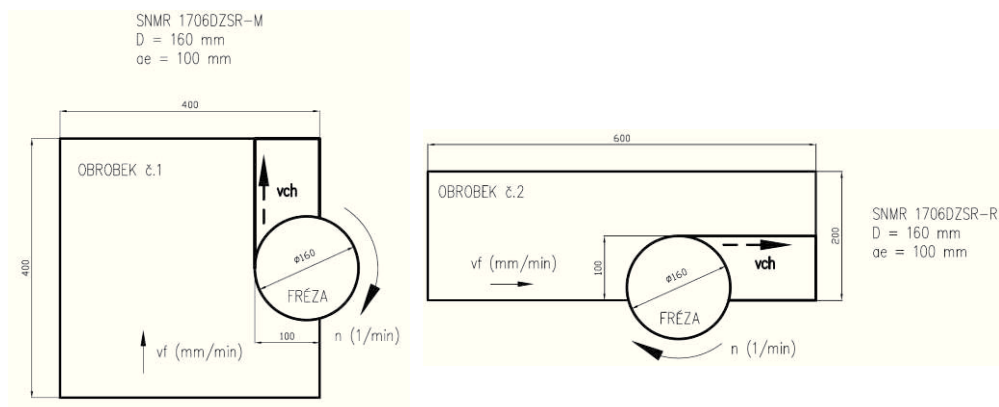


Obr. 6.22 Utvářecí diagram třísek VBD typu SNMR 1706DZSR-R - ocel 12 050.1

6.2.1.1.2 Trajektorie odchodu třísky z místa řezu

Analýza trajektorie (dráhy) odchodu odebrané třísky z místa řezu si klade za cíl zmapovat směr a rychlost odcházející třísky (kapitola 5.2.1.4). Výsledky řezné zkoušky *trajektorie odchodu třísky z místa řezu* můžeme shrnout do následujících bodů:

- trajektorie, směr odcházející třísky při obrábění řeznými podmínkami (tab. 6.12) a prototypem frézy osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-M je schematicky zobrazen na obrázku 6.23 vlevo,
- trajektorie, směr odcházející třísky při obrábění řeznými podmínkami (tab. 6.13) a prototypem frézy osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-R je schematicky zobrazen na obrázku 6.23 vpravo,
- odcházející tříska ani v jednom případě svou trajektorií nepoškozovala obráběný povrch obrobku a ani nezanechávala žádné stopy na povrchu prototypové frézy,
- geometrie VBD, respektive geometrie utvařeče třísky na čele VBD a geometrie lůžka frézy včetně axiálního a radiálního úhlu čela neumožňují, aby odcházející tříska jakkoliv znehodnocovala celý proces obrábění.



Obr. 6.23 Poloha frézy, obrobku a směr trajektorie odcházející třísky (vch) na oceli 12 050.1 (C45)

(vlevo - s VBD typu SNMR 1706DZSR-M; vpravo - s VBD typu SNMR 1706DZSR-R)

6.2.1.1.3 Charakteristika třísky

Charakteristika třísky představuje zmapování vzhledu, tvaru a velikosti třísky odebraného materiálu z místa řezu (kapitola 5.2.1.5). Výsledky řezné zkoušky z hlediska *charakteristiky třísky* můžeme shrnout do následujících bodů:

- vzniklé tvary třísek uvedené na obrázku 6.21, které vznikly při obrábění řeznými podmínkami (tab. 6.12) s prototypem frézy osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-M, můžeme zatřídit podle členění společnosti SECO Tools A.B., do skupiny číslo 6,
- vzniklé tvary třísek uvedené na obrázku 6.22, které vznikly při obrábění řeznými podmínkami (tab. 6.13) s prototypem frézy osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-R, můžeme zatřídit podle členění společnosti SECO Tools A.B., rovněž do skupiny číslo 6,
- z hlediska základního druhu třísky dle kapitoly 5.2.1.5, obrázku 5.18, můžeme všechny vzniklé třísky označit za třísky plynulé, článkovité a soudržné (obr. 5.18, písmeno a),
- vzniklé tvary třísek vyhovují požadavkům na plynulý odchod z místa řezu a jejich tvar je velice příznivý.

6.2.1.1.4 Vlastnosti nástroje v řezu

Vlastnosti nástroje při chodu v řezu jsou charakterizovány vznikem hlučnosti, vibrací a chvění (kapitola 5.2.1.6). Výsledky řezné zkoušky z hlediska *vlastností nástroje v řezu* z pohledu vzniku hlučnosti, vibrací a chvění můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.12) s prototypem frézy č. 1, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-M, můžeme konstatovat, že ke vzniku chvění a vibrací za přítomnosti hlučnosti docházelo pouze při vnikání a vycházení nástroje v obrobku při $a_p = 7$ mm a $a_p = 10$ mm,
- b) projevy chvění a vibrací ustávaly vždy při vniku celé frézy do obrobku (s ohledem na volené a_e),
- c) při nižších hodnotách posuvu na zub f_z byl časový interval chvění a vibrací delší než při středních a maximálních hodnotách posuvů na zub f_z ,
- d) při hodnotách axiální hloubky řezu v rozmezí $a_p = 1$ až 5 mm nedocházelo k vzniku chvění a vibrací, což bylo způsobeno celkově nižším mechanickým namáháním břitu a řezným odporem,
- e) hlučnost, chvění a vibrace při vnikání a vycházení nástroje z řezu byly rovněž ovlivněny celkovou tuhostí soustavy stroj-obrobek-nástroj, kterou v pomyslné stupnici od 1 do 5 můžeme hodnotit na stupni číslo 3,
- f) tuhost celé soustavy s ohledem na hranici únosnosti proudového zatížení stroje byla dostatečná do hodnoty posuvu na zub $f_z = 0,50$ mm (při posuvech vyšších již hrozilo překročení proudové hodnoty jističe frézky s následným vypnutím stroje),
- g) vibrace a chvění v konečném důsledku ovlivnily i naměřené hodnoty jakosti obrobené plochy při vnikání a vycházení nástroje z řezu; hodnoty jakosti obrobené plochy proto byly měřeny uprostřed dráhy průjezdu frézy,
- h) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.13) s prototypem frézy č. 2, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-R, můžeme i zde konstatovat, že ke vzniku chvění a vibrací za přítomnosti hlučnosti docházelo pouze při vnikání a vycházení nástroje v obrobku při $a_p = 7$ mm, $a_p = 10$ mm a posuvech vyšších než $f_z = 0,5$ mm,
- i) výrazných rozdílů ve vlastnostech prototypových nástrojů v řezu při daných hodnotách řezných podmínek s VBD s utvařeči -M a -R nebyly pozorovány a výše uvedené body závěru platí pro obě geometrie v plném znění.

6.2.1.1.5 Otěr nástroje

Konstrukční a geometrické řešení tvaru a velikosti zubové mezery ve velké míře ovlivňuje velikost a vznik otěru nástroje v řezu (kapitola 5.2.1.7). Výsledky řezné zkoušky v návaznosti na *otěr nástroje* můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.12) s prototypem frézy č. 1, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-M, můžeme konstatovat, že k otěru nástroje dochází, nicméně nebyl v průběhu funkčních zkoušek zaznamenán takový vliv otěru nástroje, aby byla nějak narušena jeho funkčnost,
- b) projevy otěru nástroje během jeho nasazení jsou patrné ve formě viditelných lesklých stop na povrchu tělesa frézy,
- c) finální povrchová úprava těles fréz a jejich základních konstrukčních prvků, kterými jsou klíny a šrouby, je ve většině případů v černém provedení;

lesklé stopy jsou tedy zřetelně viditelné, neboť čern na povrchu funkčních částí nástroje je odcházející třískou stírána,

- d) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.13) s prototypem frézy č. 2, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-R, můžeme konstatovat, že k otěru nástroje dochází taktéž,
- e) projevy otěru odcházející třísky můžeme eliminovat a minimalizovat při použití procesní kapaliny během obrábění – frézování, případně volit novější, ale nákladnější finální povrchovou úpravu tělesa a základních prvků frézy, kterým je niklování.

6.2.1.1.6 Rozsah posuvů na zub f_z

Obecně je velikost, tzn. interval rozsahu posuvů na zub f_z dán tvarem, velikostí a geometrií VBD (kapitola 5.2.1.8). Výsledky řezné zkoušky z hlediska *rozsahu posuvů na zub f_z* můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.12) s prototypem frézy č. 1, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-M, můžeme konstatovat, že pro stanovenou geometrii VBD a její doporučený rozsah posuvů $f_z = 0,20$ až $0,40$ mm, je možné rozšířit,
- b) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-M je možné povýšit hodnotu maximálního posuvu na zub $f_{z \max} = 0,50$ mm; funkční zkoušky neprokázaly jediný důvod, proč by nebylo možné tento posuv na zub používat,
- c) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-M je možné krátkodobě použít i posuv na zub pod $f_z = 0,20$ mm, kterým je $f_z = 0,15$ mm; tento posuv se však připouští používat při nižších axiálních hloubkách řezu a_p a nižších posuvů na zub f_z , tedy při méně intenzivních řezných podmínkách (při dlouhodobém použití by mohlo dojít k poškození ostří VBD),
- d) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.13) s prototypem frézy č. 2, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-R, můžeme konstatovat, že pro stanovenou geometrii VBD a její doporučený rozsah posuvů $f_z = 0,30$ až $0,55$ mm, je možné rozšířit,
- e) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-R je možné povýšit hodnotu maximálního posuvu na zub $f_{z \max} = 0,65$ mm; funkční zkoušky neprokázaly jediný důvod, proč by nebylo možné tento posuv na zub používat,
- f) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-M je možné krátkodobě použít i posuv na zub pod $f_z = 0,30$ mm, kterým je $f_z = 0,20$ mm; tento posuv se však připouští používat při nižších axiálních hloubkách řezu a_p a nižších posuvů na zub f_z , tedy při méně intenzivních řezných podmínkách (při dlouhodobém použití by mohlo dojít k poškození ostří VBD).

6.2.1.1.7 Axiální hloubka řezu $a_{p \max}$

Během procesu frézování dochází k velkým silovým namáháním nejen samotného nástroje, ale i stroje a jeho konstrukčních celků (kapitola 5.2.1.9). Výsledky řezné zkoušky z hlediska *axiální hloubky řezu $a_{p \max}$* můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.12) s prototypem frézy č. 1, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-M, můžeme konstatovat, že pro stanovenou geometrii VBD a její doporučený rozsah posuvů $f_z = 0,20$ až $0,40$ mm, je možné obrábět materiál (ocel jakosti 12 050.1) až do axiální hloubky řezu $a_{p \max} = 10$ mm,

- b) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.13) s prototypem frézy č. 2, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-R, můžeme rovněž konstatovat, že pro stanovenou geometrii VBD a její doporučený rozsah posuvů $f_z = 0,30$ až $0,55$ mm, je možné obrábět materiál (ocel jakosti 12 050.1) až do axiální hloubky řezu $a_{p \max} = 10$ mm,
- c) pro oba body závěru a) a b) platí, že nejdůležitějším aspektem při obrábění s maximální hloubkou třísky $a_{p \max} = 10$ mm je tuhost upnutí obrobku ke stolu frézky,
- d) výkon na vřetení frézky není rozhodujícím faktorem pro použití frézy při obrábění s maximální hloubkou třísky $a_{p \max} = 10$ mm,
- e) záběrové podmínky především z hlediska poměru radiální hloubky řezu a_e a použitého průměru D je nutno volit tak, aby co nejméně mohl tento poměr ovlivnit použití nástroje při obrábění s maximální hloubkou třísky $a_{p \max} = 10$ mm,
- f) dobré záběrové podmínky spolu s dostatečnou tuhostí upnutí obrobku ovlivňují výslednou jakost obrobené plochy Ra ,
- g) nevhodné záběrové podmínky (poměr a_e/D a poloha obrobku vůči ose nástroje) které se objevují obzvláště při vnikání a výjezdu nástroje do a z obrobku, ovlivňují silové poměry při frézování a tím napomáhají ke vzniku chvění a vibrací a dochází tak ke zhoršení jakosti obrobené plochy Ra .

6.2.1.2 Zkoušky obrábění na korozivzdorné oceli 17 349 (X2 CrNiMo 17-12-2)

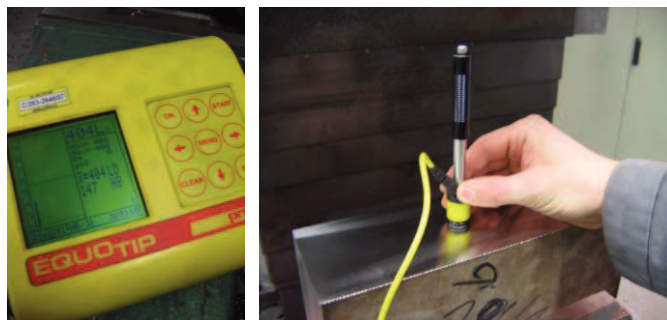
Zkoušky obrábění byly provedeny na zušlechtné korozivzdorné oceli 17 349.4, a byly provedeny v pořadí jako druhé zkoušky obrábění. Ke zkouškám obrábění na korozivzdorné oceli byly rovněž použity prototypové frézy č. 1 a č. 2, průměru $D = 160$ mm, osazené 10 ks VBD typu:

- SNMR 1706DZSR-M; 8230 pro rozsah posuvů $f_z = 0,20$ až $0,40$ mm (fréza č. 1),
- SNMR 1706DZSR-R; 8230 pro rozsah posuvů $f_z = 0,30$ až $0,55$ mm (fréza č. 2).

Pro frézu č. 1 a VBD typu SNMR 1706DZSR-M byly použit celkem dva rozměry polotovarů z korozivzdorné oceli jakosti 17 349.4:

- a) pro $a_p = 1$ a 2 mm byl použit obrobek č. 1 - polotovar o rozměrech (výška 300 mm, šířka 100 mm a hloubka 300 mm),
- b) pro $a_p = 5$; 7 a 10 mm byl použit obrobek č. 2 - polotovar o rozměrech (výška 100 mm, šířka 295 mm a hloubka 295 mm).

Před zahájením zkoušek obrábění byla proměřena tvrdost obrobku ve třech různých místech povrchu (obr. 6.24) tvrdoměrem EQUOTIP. Naměřené hodnoty tvrdostí jsou uvedeny v tabulce 6.14.



Obr. 6.24 Měření tvrdosti obrobku č. 1 z korozivzdorné oceli 17 349.4

Tab. 6.14 Naměřené hodnoty tvrdosti obrobků č. 1 a č. 2 (ocel 17 349.4)

Poloha měření (popis)	Tvrdost podle Brinella (HB)
Místo č. 1 – kraj, střed – zleva	obrobek č. 1 = 150; obrobek č. 2 = 150
Místo č. 2 – střed, střed – uprostřed plochy	obrobek č. 1 = 147; obrobek č. 2 = 146
Místo č. 3 – kraj, střed – zprava	obrobek č. 1 = 153; obrobek č. 2 = 154
Průměrná hodnota tvrdosti obrobku	obrobek č. 1 = 150 ; obrobek č. 2 = 150

Pro prototypovou frézu č. 2, osazenou VBD typu SNMR 1706DZSR-R; 8230 byl použit obrobek č. 3 - polotovár k obrábění z korozivzdorné oceli jakosti 17 349.4 o rozměrech (výška 100 mm, šířka 300 mm a hloubka 300 mm). Před zahájením zkoušek obrábění byla opět na tomto obrobku proměřena tvrdost, ve třech různých místech povrchu s použitím tvrdoměru EQUOTIP. Naměřené hodnoty tvrdosti obrobku č. 3, pro frézu č. 2 osazenou VBD typu SNMR 1706DZSR-R; 8230 jsou uvedeny v tabulce 6.15.

Tab. 6.15 Naměřené hodnoty tvrdosti obrobku č. 3 (ocel 17 349.4)

Poloha měření (popis)	Tvrdost podle Brinella (HB)
Místo č. 1 – kraj, střed – zleva	159
Místo č. 2 – střed, střed – uprostřed plochy	165
Místo č. 3 – kraj, střed – zprava	153
Průměrná hodnota tvrdosti obrobku	159

6.2.1.2.1 Utváření třísky v místě řezu

Zkoušky obrábění na utváření třísky v místě řezu byly provedeny dle kapitoly 5.2.1.3, při řezných podmínkách uvedených v tabulce 6.16 pro frézu č. 1 a VBD typu SNMR 1706DSZSR-M, v tabulce 6.17 pro frézu č. 2 a VBD typu SNMR 1706DZSR-R.

Tab. 6.16 Řezné podmínky na oceli 17 349.4 pro VBD - SNMR 1706DZSR-M

Název	Hodnota
Řezná rychlost	$v_c = 65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky vřetene	$n = 129 \text{ min}^{-1}$
Axiální hloubka řezu	$a_p = 1 \text{ mm}, 2 \text{ mm}, 5 \text{ mm}, 7 \text{ mm}$ a 10 mm
Radiální hloubka řezu	$a_e = 90 \text{ mm}$
Posuv	$f_z = 0,15 \text{ mm}; (f = 298 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,20 \text{ mm}; (f = 398 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,25 \text{ mm}; (f = 497 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,30 \text{ mm}; (f = 597 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,35 \text{ mm}; (f = 696 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,40 \text{ mm}; (f = 796 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,45 \text{ mm}; (f = 895 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,50 \text{ mm}; (f = 995 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$

Tab. 6.17 Řezné podmínky na oceli 17 349.4 pro VBD - SNMR 1706DZSR-R

Název	Hodnota
Řezná rychlost	$v_c = 65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky vřetene	$n = 129 \text{ min}^{-1}$
Axiální hloubka řezu	$a_p = 1 \text{ mm}, 2 \text{ mm}, 5 \text{ mm}, 7 \text{ mm}$ a 10 mm
Radiální hloubka řezu	$a_e = 100 \text{ mm}$
Posuv	$f_z = 0,25 \text{ mm}; (f = 497 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,30 \text{ mm}; (f = 597 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,35 \text{ mm}; (f = 696 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,40 \text{ mm}; (f = 796 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,45 \text{ mm}; (f = 895 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,50 \text{ mm}; (f = 995 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,55 \text{ mm}; (f = 1094 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$
	$f_z = 0,60 \text{ mm}; (f = 1194 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1})$

Výsledky řezné zkoušky *utváření třísky* na korozivzdorné oceli jakosti 17 349.4 můžeme shrnout do následujících bodů:

- ze souboru řezných zkoušek byly získány utvářecí diagramy pro VBD typu SNMR 1706DZSR-M (obr. 6.25) a VBD typu SNMR 1706DZSR-R (obr. 6.26) při daných řezných podmínkách,
- z utvářecích diagramů je patrné, že se třísky utvářejí do určitých tvarů s danou pravidelností a v převážné většině případů si zachovávají spirálovitý tvar; třísky jsou stočené a mají charakteristickou tloušťku a šířku danou jednotlivými parametry – axiální hloubky řezu a_p a posuvem na zub f_z ,
- rozsah posuvů na zub f_z pro zkoušený typ VBD SNMR 1706DZSR-M, který je dán konstrukcí a geometrií VBD pro stanovený rozsah posuvů na zub $f_z = 0,20$ až $0,40 \text{ mm}$, je možné rozšířit až na rozsah posuvů na zub $f_z = 0,15$ až $0,50 \text{ mm}$,
- při řezné zkoušce s VBD typu SNMR 1706DZSR-M při nejvyšší axiální hloubce řezu $a_p = 10 \text{ mm}$, nebylo možno z důvodu tuhosti celé soustavy stroj-obrobek-nástroj a záběrových podmínek (a_e / D) provést úběr materiálu při posuvu na zub $f_z = 0,45 \text{ mm}$ a $f_z = 0,50 \text{ mm}$,
- při celém souboru řezných zkoušek s VBD typu SNMR 1706DZSR-M měl obráběný materiál sklon k nalepování na nástroj, respektive na ostří samotné VBD; tento jev je charakteristický pro skupinu materiálu M dle ISO 513, je však nežádoucí,
- rozsah posuvů na zub f_z pro zkoušený typ VBD SNMR 1706DZSR-R, který je dán konstrukcí a geometrií VBD pro stanovený rozsah posuvů na zub $f_z = 0,30$ až $0,55 \text{ mm}$, nebylo možné v plném rozsahu z hlediska $a_p = 1$ až 10 mm použít,
- při řezné zkoušce s VBD typu SNMR 1706DZSR-R při axiální hloubce řezu $a_p = 2 \text{ mm}$, nebylo možno z důvodu tuhosti soustavy stroj-obrobek-nástroj, záběrových podmínek (a_e / D) a vlivu nalepování materiálu, provést úběr materiálu při posuvu na zub $f_z = 0,60 \text{ mm}$ (tento posuv je již nad hranici doporučeného posuvu na zub $f_z = 0,55 \text{ mm}$),
- při řezné zkoušce s VBD typu SNMR 1706DZSR-R při axiální hloubce řezu $a_p = 5 \text{ mm}$ a $a_p = 7 \text{ mm}$ nebylo možno z důvodu tuhosti celé soustavy stroj-obrobek-nástroj a záběrových podmínek (a_e / D) provést úběr materiálu již při posuvu na zub $f_z = 0,55 \text{ mm}$; výrazně se zde projevovala nežádoucí vlastnost obráběného materiálu, nalepování,

a_p (mm), $a_e = 90$ mm	Insert : SNMR 1706DZSR-M; 8230 Milling cutter: 160C10R-F60SN17X			Mat: 17 349.4 (SS 2348, 1.4404); HB 150 $v_c = 65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$			Date: 09.02.2009 + 23.03.2009		Machine: FCV 63	
1										
Ra (um)	0,92	0,92	0,68	1,30	1,16	0,82	0,74	0,54		
2										
Ra (um)	0,56	0,66	0,46	1,12	0,66	0,74	1,70	0,80		
5										
Ra (um)	0,88	0,54	0,88	1,20	1,60	1,04	1,20	1,80		
7										
Ra (um)	1,10	0,76	1,02	1,30	1,08	1,34	1,80	1,72		
10										
Ra (um)	0,78	1,22	1,36	0,94	1,30	2,20	-	-		
Feed f_z [mm.tooth ⁻¹]	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50		

Obr. 6.25 Utvářecí diagram třísek VBD typu SNMR 1706DZSR-M - korozivzdorná ocel 17 349.4

a_p (mm), $a_e = 100$ mm	Insert : SNMR 1706DZSR-R; 8230 Milling cutter: 160C10R-F60SN17X			Mat: 17 349.4 (SS 2348, 1.4404); HB 159 $v_c = 65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$			Date: 08.04.2009 - 09.04.2009		Machine: FCV 63	
1										
Ra (um)	0,84	1,60	1,60	0,78	0,76	1,00	1,00	1,00		
2										
Ra (um)	0,64	0,80	1,42	1,70	1,40	2,20	2,60	-		
5										
Ra (um)	0,98	0,88	1,40	1,80	1,30	1,32	1,54	-		
7										
Ra (um)	0,82	1,30	2,70	2,50	2,20	1,80	1,60	-		
10										
Ra (um)	0,76	0,54	1,80	0,88	0,72	1,16	0,96	-		
Feed f_z [mm.tooth ⁻¹]	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60		

Obr. 6.26 Utvářecí diagram třísek VBD typu SNMR 1706DZSR-R - korozivzdorná ocel 17 349.4

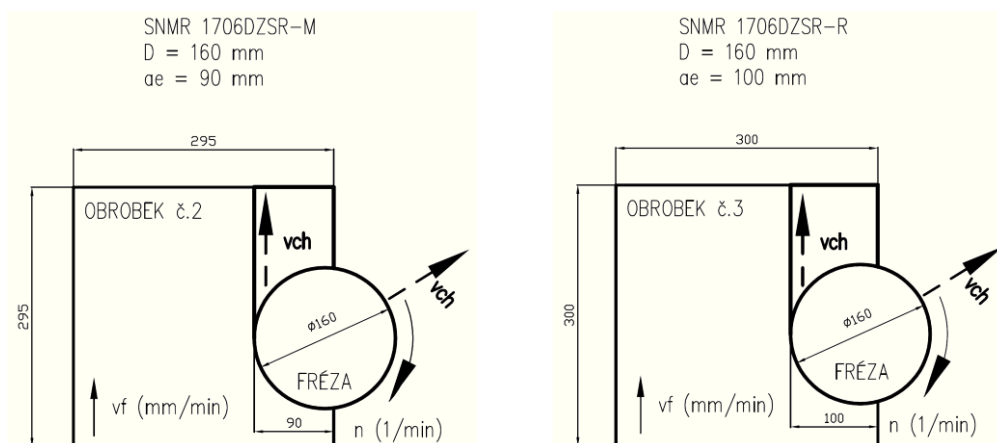
- i) stejný charakter a vliv nalepování uvedený v bodě h) se projevovat i při řezné zkoušce s VBD typu SNMR 1706DZSR-R při axiální hloubce řezu $a_p = 10$ mm; z důvodu výrazného nárůstu řezných sil v reakci na záběrové podmínky (a_e / D) a tuhost upnutí nebylo možno provést úběr materiálu již od posuvu na zub $f_z = 0,40$ mm až po $f_z = 0,55$ mm,
- j) z hlediska geometrie tvaru VBD v návaznosti na spolehlivost, stabilitu řezu jsou vždy doporučovány původně stanovené rozsahy posuvů na zub f_z ,
- k) obě geometrie, tj. -M a -R se navzájem ve svých rozsazích posuvů na zub f_z záměrně překrývají (od $f_z = 0,3$ do $0,4$ mm) proto, že je tato oblast nejvíce používaná v produktivních polohrubovacích operacích,

- l) z hlediska požadavku na zvyšování produktivity práce při polohrubovacích operacích frézování nejsou vhodné posuvy na zub $f_z < 0,2$ mm,
- m) k obráběným materiálům dle ISO 513, skupiny M, jehož našim hlavním představitelem je korozivzdorná ocel 17 349, je nutno přistupovat jiným způsobem než k materiálům skupiny P, kde je pro nás hlavním představitelem ocel 12 050,
- n) řezné zkoušky na korozivzdorné oceli 17 349 potvrdily její sklon k nalepování a její utváření do pravidelných tvarů je podmíněna vhodnou volbou jak řezných, tak záběrových podmínek; korozivzdorná ocel se obrábí velice obtížně.

6.2.1.2.2 Trajektorie odchodu třísky z místa řezu

Analýza trajektorie (dráhy) odchodu odebrané třísky z místa řezu si klade za cíl zmapovat směr a rychlost odcházející třísky (kapitola 5.2.1.4). Výsledky řezné zkoušky *trajektorie odchodu třísky z místa řezu* můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) trajektorie, směr odcházející třísky při obrábění řeznými podmínkami (tab. 6.16) a prototypem frézy č. 1 s VBD SNMR 1706DZSR-M je zobrazen na obrázku 6.27 vlevo,
- b) trajektorie, směr odcházející třísky při obrábění řeznými podmínkami (tab. 6.17) a prototypem frézy č. 2 s VBD SNMR 1706DZSR-R je zobrazen na obrázku 6.27 vpravo,
- c) při řezných zkouškách oběma typy VBD SNMR 1706DZSR-M a SNMR 1706DZSR-R neodcházeli vzniklé třísky z místa řezu zcela hladce,
- d) při obrábění s VBD typu SNMR 1706DZSR-M byla trajektorie odcházející třísky vždy podmíněna kombinací axiální hloubky řezu a_p posuvu na zub f_z ; při malém $a_p = 1$ až 2 mm a nízkém $f_z = 0,15$ až 0,35 mm odcházela vzniklá tříska z místa řezu a částečně zůstávala i na neobrobené ploše obrobku před nástrojem; naopak při velkém $a_p = 7$ mm a $f_z = 0,45$ mm měla tříska tendenci se nalepovat na ostří VBD, ne-li ulpět v zubové mezeře a nechat se unášet až do dalšího záběru,
- e) při obrábění s VBD typu SNMR 1706DZSR-R byla trajektorie odcházející třísky opět podmíněna kombinací axiální hloubky řezu a_p posuvu na zub f_z ; při malém $a_p = 1$ až 2 mm a nízkém $f_z = 0,15$ až 0,50 mm odcházela vzniklá tříska z místa řezu a rovněž i zůstávala na ploše obrobku; naopak při $a_p = 2$ mm a při posuvu na zub $f_z = 0,55$ mm se začala tříska nalepovat na ostří VBD až do samotného poškození tohoto ostří,
- f) při obrábění s VBD typu SNMR 1706DZSR-R se od $a_p = 5$ mm tříska výrazně nalepovala a ulpívala v zubové mezeře; tato tříska byla následně unášena až do dalšího záběru, a to při posuvech na zub $f_z > 0,40$ mm,
- g) trajektorie odchodu třísky z místa řezu pro obrábění korozivzdorné oceli 17 349.4 je pro obě geometrie VBD (SNMR 1706DZSR-M a SNMR 1706DZSR-R) rámcově shodná; při nižších a_p a bez rozdílu rozsahu f_z je odchod třísky doprovázen ojedinělými příznaky ulpívání třísky na ploše obrobku, avšak bez jejího poškození; naopak při $a_p > 5$ mm a $f_z > 0,40$ mm má tendenci tříska vždy ulpět na řezné hraně a nechat se unášet až do dalšího záběru; tento fakt není pro proces obrábění vhodný vzhledem k tomu, že může a bylo i ověřeno že dochází při ulpění třísky na ostří VBD k jejímu následnému poškození,
- h) během celého souboru řezných zkoušek však nebyl pozorován negativní vliv volně ložených třísek na obrobku (nedocházelo k jeho poškození).



Obr. 6.27 Poloha frézy, obrobku a směr trajektorie odcházející třísky (*vch*) na korozivzdorné oceli 17 349.4 (X2 CrNiMo 17-12-2) (vlevo - s VBD typu SNMR 1706DZSR-M; vpravo - s VBD typu SNMR 1706DZSR-R)

6.2.1.2.3 Charakteristika třísky

Charakteristika třísky představuje zmapování vzhledu, tvaru a velikosti třísky odebraného materiálu z místa řezu (kapitola 5.2.1.5). Výsledky řezné zkoušky z hlediska *charakteristiky třísky* můžeme shrnout do následujících bodů:

- vzniklé tvary třísek uvedené na obrázku 6.25, které vznikly při obrábění řeznými podmínkami dle tabulky 6.16 s prototypem frézy osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-M, můžeme zatřídit podle členění společnosti SECO Tools A.B., do skupiny číslo 6,
- vzniklé tvary třísek uvedené na obrázku 6.26, které vznikly při obrábění řeznými podmínkami dle tabulky 6.17 s prototypem frézy osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-R, můžeme zatřídit podle členění společnosti SECO Tools A.B., rovněž do skupiny číslo 6,
- z hlediska základního druhu třísky dle obrázku 5.18, kapitola 5.2.1.5 můžeme všechny vzniklé třísky označit za třísky plynulé, článkovité a soudržné (obr. 5.18, písmeno a).

6.2.1.2.4 Vlastnosti nástroje v řezu

Vlastnosti nástroje při chodu v řezu jsou charakterizovány vznikem hlučnosti, vibrací a chvění (kapitola 5.2.1.6). Výsledky řezné zkoušky z hlediska *vlastností nástroje v řezu* z pohledu vzniku hlučnosti, vibrací a chvění můžeme shrnout do následujících bodů:

- při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.16) s prototypem frézy č. 2, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-M, můžeme konstatovat, že ke vzniku chvění a vibrací za přítomnosti hlučnosti docházelo pouze při vnikání a vycházení nástroje v obrobku při $a_p = 7$ mm a $a_p = 10$ mm,
- projevy chvění a vibrací ustávaly vždy při vniku celé frézy do obrobku (s ohledem na volené a_e),
- při nižších hodnotách posuvu na zub f_z byl časový interval chvění a vibrací delší než při středních a maximálních hodnotách posuvů na zub f_z ,

- d) při hodnotách axiální hloubky řezu v rozmezí $a_p = 1$ až 5 mm nedocházelo k vzniku chvění a vibrací, což bylo způsobeno celkově nižším mechanickým namáháním břitu a řezným odporem,
- e) hlučnost, chvění a vibrace při vnikání a vycházení nástroje z řezu byly rovněž ovlivněny celkovou tuhostí soustavy stroj-obrobek-nástroj, kterou v pomyslné stupnici od 1 do 5 můžeme hodnotit na stupni číslo 3,
- f) tuhost celé soustavy s ohledem na hranici únosnosti proudového zatížení stroje byla dostatečná do hodnoty posuvu na zub $f_z = 0,45$ mm (při posuvech vyšších již hrozilo překročení proudové hodnoty jističe frézky a jejího vypnutí),
- g) vibrace a chvění v konečném důsledku ovlivnily i naměřené hodnoty jakosti obrobené plochy při vnikání a vycházení nástroje z řezu; hodnoty jakosti obrobené plochy proto byly měřeny uprostřed dráhy průjezdu frézy,
- h) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.17) s prototypem frézy č. 2, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-R, můžeme i zde konstatovat, že ke vzniku chvění a vibrací za přítomnosti hlučnosti docházelo pouze při vnikání a vycházení nástroje v obrobku při $a_p = 7$ mm, $a_p = 10$ mm a posuvech vyšších než $f_z = 0,5$ mm,
- i) výrazných rozdílů ve vlastnostech prototypových nástrojů v řezu při daných hodnotách řezných podmínek s VBD s utvařeči -M a -R nebyly pozorovány a výše uvedené body závěru platí pro obě geometrie v plném znění,
- j) chvění a vibrace byly rovněž tlumeny za přispěním mechanických vlastností obráběného materiálu, především její plasticitou a tendencemi k nalepování.

6.2.1.2.5 Otěr nástroje

Konstrukční a geometrické řešení tvaru a velikosti zubové mezery ve velké míře ovlivňuje velikost a vznik otěru nástroje v řezu (kapitola 5.2.1.7). Výsledky řezné zkoušky v návaznosti na *otěr nástroje* můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.16) s prototypem frézy č. 2, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-M, můžeme konstatovat, že k otěru nástroje dochází odcházející třískou ve větší míře než při obrábění oceli 12 050.1,
- b) otěr od odcházejících třísek obráběného materiálu nebyl však do té míry intenzivní, že by bylo zaznamenáno jakékoliv narušení funkčnosti nástroje,
- c) zvýšený otěr nástroje byl zaznamenán na řezných hranách VBD, který v konečném důsledku následně znamenal ukončení životnosti ostří VBD (velkou měrou přispělo k ukončení životnosti VBD nalepení obráběného materiálu na ostří a jeho následné vytržení),
- d) projevy otěru nástroje během jeho nasazení jsou patrné ve formě viditelných lesklých stop na povrchu tělesa frézy,
- e) finální povrchová úprava těles fréz a jejich základních konstrukčních prvků, kterými jsou klíny a šrouby, je ve většině případů v černém provedení; lesklé stopy jsou tedy zřetelně viditelné, neboť čern na povrchu funkčních částí nástroje je odcházející třískou stírána,
- f) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.17) s prototypem frézy č. 2, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-R, můžeme konstatovat, že k otěru nástroje dochází se stejnou intenzitou jako v případě nasazení VBD typu SNMR 1706DZSR-M,
- g) projevy otěru odcházející třísky můžeme eliminovat a minimalizovat při použití procesní kapaliny během obrábění s ohledem na požadavky finálního vzhledu.

6.2.1.2.6 Rozsah posuvů na zub f_z

Obecně je velikost, tzn. interval rozsahu posuvů na zub f_z dán tvarem, velikostí a geometrií VBD (kapitola 5.2.1.8). Výsledky řezné zkoušky z hlediska *rozsahu posuvů na zub f_z* můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.16) s prototypem frézy č. 2, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-M, můžeme konstatovat, že pro stanovenou geometrii VBD a její doporučený rozsah posuvů $f_z = 0,20$ až $0,40$ mm, je možné tento rozsah posuvů rozšířit,
- b) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-M je možné povýšit hodnotu maximálního posuvu na zub na $f_{z\max} = 0,50$ mm; s omezením pouze u $a_p = 10$ mm, kdy je možné použít posuvu na zub $f_{z\max} = 0,40$ mm,
- c) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-M je možné krátkodobě použít i posuv na zub pod $f_z = 0,20$ mm, kterým je $f_z = 0,15$ mm; tento posuv se však připouští používat při nižších axiálních hloubkách řezu a_p a nižších posuvů na zub f_z , tedy při méně intenzivních řezných podmínkách (při dlouhodobém použití by mohlo dojít k poškození ostří VBD, vzhledem k tomu, že se pohybujeme s posuvem na hodnotě rozměru čelní fazetky),
- d) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.17) s prototypem frézy č. 2, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-R, můžeme konstatovat, že pro stanovenou geometrii VBD a její doporučený rozsah posuvů $f_z = 0,30$ až $0,55$ mm, můžeme tento rozsah posuvů použít, avšak s omezením, kterým je axiální hloubka řezu a_p ,
- e) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-R je možné povýšit hodnotu maximálního posuvu na zub na $f_{z\max} = 0,60$ mm; pouze pro $a_p = 1$ mm; při vyšších a_p to není možné z důvodu nalepování obráběného materiálu na ostří VBD,
- f) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-R je možné použít posuvu na zub $f_z = 0,55$ mm pouze při $a_p = 2$ mm; při $a_p = 5$ a 7 mm pouze posuv na zub $f_z = 0,50$ mm a při $a_p = 10$ mm pouze posuv na zub $f_z = 0,35$ mm; při jiných posuvech na zub byl shledán vždy problém s nalepováním obráběného materiálu na ostří VBD a její následné poškození,

6.2.1.2.7 Axiální hloubka řezu $a_{p\max}$

Během procesu frézování dochází k velkým silovým namáháním nejen samotného nástroje, ale i stroje a jeho konstrukčních celků (kapitola 5.2.1.9). Výsledky řezné zkoušky z hlediska *axiální hloubky řezu $a_{p\max}$* můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.16) s prototypem frézy č. 2, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-M, můžeme konstatovat, že pro stanovenou geometrii VBD a její doporučený rozsah posuvů $f_z = 0,20$ až $0,40$ mm je možné obrábět materiál – korozivzdornou ocel jakosti 17 349.4 až do axiální hloubky řezu $a_{p\max} = 10$ mm,
- b) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami (tab. 6.17) s prototypem frézy č. 2, osazeným VBD typu SNMR 1706DZSR-R, můžeme rovněž konstatovat, že pro stanovenou geometrii VBD a její doporučený rozsah posuvů $f_z = 0,30$ až $0,55$ mm, je možné obrábět korozivzdornou ocel jakosti 17 349.4 takto:
 - $a_p = 1$ mm pro $f_z = 0,25$ až $0,65$ mm,
 - $a_p = 2$ mm pro $f_z = 0,25$ až $0,55$ mm,
 - $a_p = 5$ mm pro $f_z = 0,25$ až $0,50$ mm,

- $a_p = 7 \text{ mm}$ pro $f_z = 0,25$ až $0,50 \text{ mm}$,
 - $a_p = 10 \text{ mm}$ pro $f_z = 0,25$ až $0,35 \text{ mm}$,
- c) pro oba body závěru a) a b) platí, že nejdůležitějším aspektem při obrábění při jednotlivých axiálních hloubkách řezu třísky a_p je tuhost upnutí obrobku, respektive tuhost celé soustavy stroj-obrobek-nástroj, ale především jakost obráběného materiálu,
- d) výkon na vřetení frézky není rozhodujícím faktorem pro použití frézy při obrábění s maximální hloubkou třísky $a_{p \max} = 10 \text{ mm}$,
- e) záběrové podmínky především z hlediska poměru radiální hloubky řezu a_e a použitého průměru D je nutno volit tak, aby co nejméně mohl tento poměr ovlivnit použití nástroje při obrábění s maximální hloubkou třísky $a_{p \max} = 10 \text{ mm}$,
- f) dobré záběrové podmínky spolu s dostatečnou tuhostí upnutí obrobku ovlivňují výslednou jakost obrobené plochy Ra ,
- g) nevhodné záběrové podmínky (poměr a_e / D a poloha obrobku vůči ose nástroje) které se objevují obzvláště při vnikání a výjezdu nástroje do a z obrobku, ovlivňují silové poměry při frézování a tím napomáhají ke vzniku chvění a vibrací a dochází tak ke zhoršení jakosti obrobené plochy Ra .

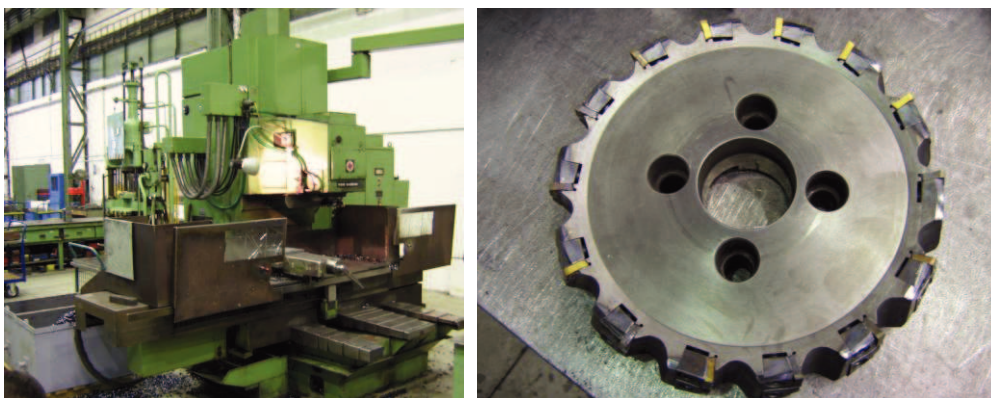
6.2.2 Zkoušky obrábění u vybraných zákazníků

6.2.2.1 Vítkovice Testing Center, s.r.o. Ostrava

Funkční zkoušky obrábění s prototypem frézy PRAMET typ F60SN17X byly provedeny u zákazníka, firmy Vítkovice Testing Center, s.r.o. Ostrava. Firma se zabývá obráběním drobných dílců; opracovávání vzorků taveb, odlitků, vývalků, polotovárů, které jsou následně podrobovány kontrolám na jakost, kontrolám na ověření a stanovení mechanických vlastností a chemického složení.

Současný stav

V současné době používá obrobna ve Vítkovice Testing Center obráběcí stroj - frézovací centrum typ FCV 63 SCA (obr. 6.28, vlevo), výrobce TOS Kuřim. Stávajícím obráběcím nástrojem je rovinná fréza Pramet, typ 250C14R-W75SP15D. Fréza je standardně osazena VBD typ SPKR 1504EDSR z materiálu 8240 (obr. 6.28, vpravo). Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 6.18.



Obr. 6.28 Pracoviště obrobny
(vlevo - frézovací centrum FCV 63 SCA; nástroj Pramet - typ 250C14R-W75SP15D)

Tab. 6.18 Řezné podmínky pro frézu 250C14R-W75SP15D

Parametr	Označení	Jednotka	Hodnota
Axiální hloubka řezu	a_p	mm	8
Radiální hloubka řezu	a_e	mm	200
Řezná rychlost	v_c	$m \cdot min^{-1}$	176
Otáčky	n	min^{-1}	224
Posuv minutový	f_{min}	$mm \cdot min^{-1}$	400
Posuv na zub	f_z	mm	0,128

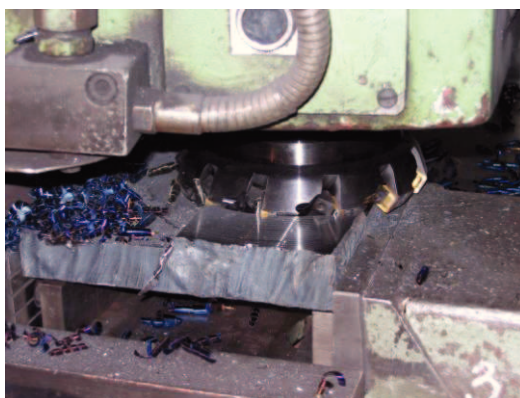
Nejčastěji vyskytujícími materiály k obrábění jsou:

- ocelolitiny s vyšším obsahem uhlíku (označení GS-60; $R_m = 600$ MPa),
- konstrukční oceli jakosti 11 523 a 11 503,
- vysoko-pevnostní kalená ocel (označení S690QL; $R_m = 930$ MPa).

Obrábění je vždy bez použití procesní kapaliny. Se stávajícím nástrojem 250C14R-W75SP15D a VBD SPKR 1504EDSR; 8240 nedokážou obrobít vysoko-pevnostní kalenou ocel s označením S690QL ($R_m = 930$ MPa).

1. Zkouška obrábění s prototypem Pramet

Na obráběcí frézovací centrum FCV 63 SCA byl nasazen prototypový nástroj Pramet, typ 200C12R-F60SN17X-2 osazený VBD typ SNMR 1706DZSR-M z materiálu 8026T (obr. 6.29).



Obr. 6.29 Prototypová fréza Pramet nasazena na frézovací centrum FCV 63 SCA

Funkční zkoušky byly provedeny na vzorcích polotovarů uvedených v tabulce 6.19.

Tab. 6.19 Skladba polotovarů funkčních zkoušek

Číslo zkoušky	Rozměr polotovaru	Jakost polotovaru	Mechanické vlastnosti
1.	250 x 200 mm (1. vzorek)	ocel 11 523	$R_m = 700$ MPa
2.	250 x 200 mm (2. vzorek)	ocel 11 523	$R_m = 700$ MPa
3.	110 x 300 mm	ocelolitina GS-60	$R_m = 600$ MPa
4.	80 x 200 mm	ocel S690QL	$R_m = 930$ MPa
5.	110 x 390 mm	ocel S690QL	$R_m = 930$ MPa

2. Zkouška obrábění s prototypem Pramet

Na obráběcí frézovací centrum FCV 63 SCA byl nasazen prototypový nástroj Pramet, typ 200C12R-F60SN17X-2 osazený VBD typ SNMR 1706DZSR-R z materiálu 8026T. Funkční zkoušky byly provedeny na vzorcích polotovarů uvedených v tabulce 6.20.

Tab. 6.20 Skladba polotovarů funkčních zkoušek

Číslo zkoušky	Rozměr polotovaru	Jakost polotovaru	Mechanické vlastnosti
6.	110 x 390 mm	ocel S690QL	$R_m = 930$ MPa
7.	110 x 300 mm	ocelolitina GS-60	$R_m = 600$ MPa

Jednotlivé zkoušky obrábění jsou uvedeny v Příloze č. 10 ve formě záznamových protokolů. Každá řezná zkouška je detailně rozebrána včetně záběrových a řezných podmínek. Výsledky *funkčních řezných zkoušek* na obrobně ve firmě Vítkovice Testing Center, Ostrava můžeme shrnout do následujících bodů:

- soubor řezných zkoušek si kladl za cíl prověřit funkčnost prototypového frézovacího nástroje Pramet, označení 200C12R-F60SN17X-2 osazený VBD typu SNMR 1706DZSR,
- současným používaným frézovacím nástrojem pro obrábění polotovarů je fréza typu 250C14R-W75SP15D osazená VBD typu SPKR 1504EDSR; 8240,
- zákazník provádí obrábění dílců, jako jsou vzorky taveb, odlitků, vývalků, polotovarů určených pro následné kvalitativní kontroly (kontrola na jakost, stanovení mechanických vlastností, chemického složení),
- nejčastěji obráběnými materiály jsou konstrukční oceli 11 523, 11 503, dále ocelolitin GS-60 a vysoko-pevnostní kalená ocel označení S690QL, která prakticky nelze stávajícím nástrojem 250C14R-W75SP15D ekonomicky obrobit (vysoká spotřeba VBD, nízká produktivita práce, vysoké zatížení stroje),
- prototypový nástroj Pramet označení 200C12R-F60SN17X-2 osazený VBD SNMR 1706DZSR (s geometrií -M a geometrií -R), předčil očekávání obsluhy stroje i technologa výroby a to z hlediska spolehlivosti chodu nástroje v řezu, bez vibrací a chvění s možností zvýšení posuvu na zub a tedy zvýšení produktivity práce,
- prototypový nástroj Pramet (označení 200C12R-F60SN17X-2 osazený VBD SNMR 1706DZSR-R) byl rovněž schopen obrobit i vysoko-pevnostní kalenou ocel, označení S690QL; obrobění tohoto typu materiálu představovalo pro technologa výroby největší přínos nového prototypového nástroje Pramet, vzhledem k tomu, že je obrábění tohoto materiálu v současnosti řešeno v kooperaci.

6.2.2.2 ŽĐAS, a.s., Žďár nad Sázavou

Funkční zkoušky obrábění s prototypem frézy PRAMET typ F60SN17X byly dále provedeny u zákazníka – ve firmě ŽĐAS, a.s., Žďár nad Sázavou. Jednalo se o ověření funkčnosti obrábění dílce pro energetický průmysl z těžkoobrobitelného materiálu, standardním způsobem frézování.

Současný stav

Dílce pro energetický průmysl jsou standardně obráběny na horizontální frézce typ W160H, výrobce Škoda Plzeň (obr. 6.30, vlevo). Obrábění dílce se provádělo nástrojem, frézou typu 200C12R-W75SP15D standardně osazovanou VBD SPKN 1504EDSR. Avšak z důvodu nízké produktivity práce a vysokých nákladů na nástroj (na jeden břit VBD) byla provedena optimalizace obráběcí operace, jejímž výsledkem je používání frézy s kruhovým tvarem VBD. V současnosti se jedná o frézu průměru $D = 200$ mm s 10 VBD typu RCKT 2006MO-PM z materiálu 4240 od firmy Sandvik Coromant (obr. 6.30, vpravo). Standardní řezné podmínky, které jsou používány při obrábění dílce, jsou uvedeny v tabulce 6.21.



Obr. 6.30 Pracoviště obrobny
(vlevo – Horizontální frézka W160H o výkonu 55 kW výrobce Škoda Plzeň;
vpravo – Fréza $D = 200$ mm s kruhovými VBD RCKT 20 Sandvik Coromant)

Tab. 6.21 Řezné podmínky pro frézu $D = 200$ mm (Sandvik Coromant)

Parametr	Označení	Jednotka	Hodnota
Axiální hloubka řezu	a_p	mm	5
Radiální hloubka řezu	a_e	mm	160 až 180
Řezná rychlost	v_c	$m \cdot min^{-1}$	80
Otáčky	n	min^{-1}	130
Posuv minutový	f_{min}	$mm \cdot min^{-1}$	380
Posuv na zub	f_z	mm	0,24

Nejčastěji vyskytujícím se materiálem dílců pro energetický průmysl je Chrom-Molybdenová-Vanad-Niobová litá ocel (označení GX-12CrMoVNB-X) s 9 % obsahem chromu a třídy obrobitelnosti 9b. Chemické složení materiálu je uvedeno v tabulce 6.22.

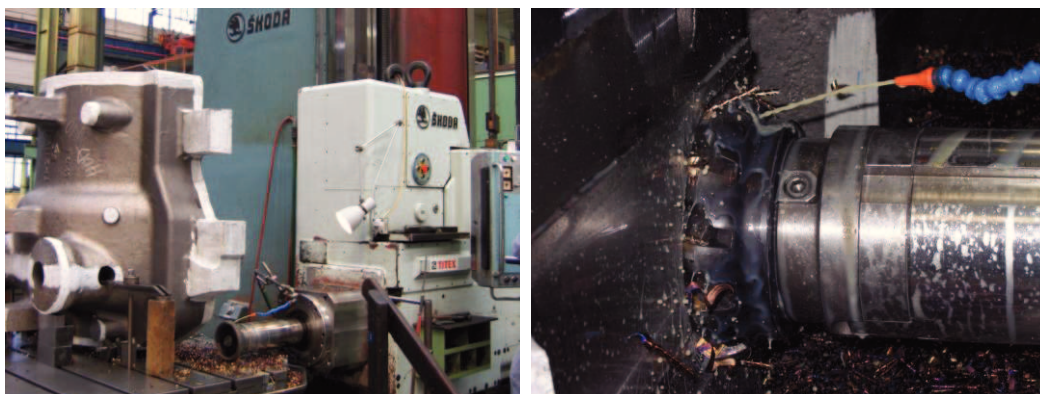
Tab. 6.22 Chemické složení oceli GX-12CrMoVNB-X

Chemické složení - rozbor tavby (%)						
<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>
0,11 až 0,12	0,42 až 0,57	0,30 až 0,45	8,5 až 9,0	max. 0,35	0,95 až 1,00	0,20 až 0,23
<i>Nb</i>	<i>Cu</i>	<i>Al</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>H</i>	<i>ostatní</i>
0,062 až 0,077	max. 0,30	0,01 až 0,018	0,04 až 0,045	0,005	2,00	

Současným nástrojem s kruhovými VBD typu RCKT 2006MO-PM; 4240, obsluha obrobí na jedno osazení (tj. s 10 ks VBD), celou jednu plochu obrobku tělesa turbíny. Obrábění je vždy doprovázeno s malým množstvím chladicí kapaliny pro ochlazování tělesa frézy z důvodu možností povolování a utahování šroubku VBD a pootáčení kruhových VBD.

1. Zkouška obrábění s prototypem Pramet

Na horizontální frézovací stroj W160H byl nasazen prototypový nástroj Pramet, typ 200C12R-F60SN17X-2 osazený VBD typ SNMR 1706DZSR-R z materiálu 8026T (obr. 6.31).

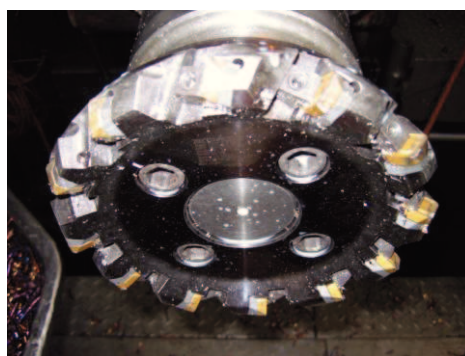


Obr. 6.31 Zkoušky obrábění
(vlevo – zahájení obrábění dílce s frézou Pramet;
vpravo - detail obrábění dílce s frézou Pramet 200C12R-F60SN17X-2)

Plocha dílce o rozměrech (1080 x 1000) mm byla obráběna řeznými podmínkami uvedenými v tabulce 6.23. Po obrobení jedné plochy byly však všechny VBD nevratně poškozeny na tzv. vydrolení břitu spolu s otěrem a nalepeninami obráběného materiálu (obr. 6.32).

Tab. 6.23 Řezné podmínky obrábění dílce frézou Pramet 200C12R-F60SN17X-2

Parametr	Označení	Jednotka	Hodnota
Axiální hloubka řezu	a_p	mm	4
Radiální hloubka řezu	a_e	mm	170
Řezná rychlost	v_c	$m \cdot min^{-1}$	100
Otáčky	n	min^{-1}	160
Posuv minutový	f_{min}	$mm \cdot min^{-1}$	450
Posuv na zub	f_z	mm	0,3



Obr. 6.32 Stav VBD a frézy Pramet po obrobení jedné plochy obrobku

2. Zkouška obrábění s prototypem Pramet

Na horizontální frézovací stroj W160H byl nasazen prototypový nástroj Pramet, typ 200C12R-F60SN17X-2 osazený VBD typ SNMR 1706DZSR-M z materiálu 8230. Soubor zkoušek byl analyzován na jednotlivé průjezdy plochy dílce obrobku (tab. 6.24).

Tab. 6.24 Zkoušky obrábění s prototypem Pramet (2)

Číslo průjezdu nástroje obrobkem	Rozměr plochy	Řezné podmínky	Výsledek
1	1000 x 170 mm	$v_c = 100 \text{ m.min}^{-1}$; $f = 380 \text{ mm.min}^{-1}$; $f_z = 0,20 \text{ mm}$; $a_p = 4 \text{ mm}$; $a_e = 170 \text{ mm}$	chvění z důvodu dlouhého vyložení vřetena (700 mm); po obrobení celé plochy byly VBD značně opotřebované
2	1000 x 160 mm	$v_c = 100 \text{ m.min}^{-1}$; $f = 380 \text{ mm.min}^{-1}$; $f_z = 0,20 \text{ mm}$; $a_p = 8 \text{ mm}$; $a_e = 160 \text{ mm}$	ustálený chod s mírnými vibracemi z důvodu upnutí obrobku; po obrobení plochy byly ale VBD totálně poškozené
3	1000 x 180 mm	$v_c = 80 \text{ m.min}^{-1}$; $f = 380 \text{ mm.min}^{-1}$; $f_z = 0,24 \text{ mm}$; $a_p = 8 \text{ mm}$; $a_e = 180 \text{ mm}$	nižší v_c nepřispěla k odstranění chvění a vibrací = upnutí obrobku; po obrobení plochy byly VBD značně opotřebované
4	1000 x 180 mm	$v_c = 80 \text{ m.min}^{-1}$; $f = 312 \text{ mm.min}^{-1}$; $f_z = 0,20 \text{ mm}$; $a_p = 3 \text{ mm}$; $a_e = 180 \text{ mm}$	vysoké chvění a vibrace; nižší a_p nepřispěla k lepšímu výsledku; po obrobení plochy byly VBD značně opotřebované
5	1000 x 180 mm	$v_c = 65 \text{ m.min}^{-1}$; $f = 240 \text{ mm.min}^{-1}$; $f_z = 0,20 \text{ mm}$; $a_p = 3 \text{ mm}$; $a_e = 180 \text{ mm}$	bez výrazného chvění; nalepování obráběného materiálu a tím i k poškození břitů VBD; po obrobení plochy byly VBD totálně zničené
6	1000 x 160 mm	$v_c = 80 \text{ m.min}^{-1}$; $f = 380 \text{ mm.min}^{-1}$; $f_z = 0,24 \text{ mm}$; $a_p = 5 \text{ mm}$; $a_e = 160 \text{ mm}$	po cca 200 mm došlo k totálnímu poškození všech VBD; důvod = ložisko zpevněné struktury obrobku znamenalo totální destrukci VBD a jedné podložky z SK

Výsledky *funkčních řezných zkoušek* na obrobce ve firmě ŽĐAS, Žďár nad Sázavou můžeme shrnout do následujících bodů:

- soubor řezných zkoušek si kladl za cíl prověřit funkčnost prototypového frézovacího nástroje Pramet, označení 200C12R-F60SN17X-2 osazený VBD typu SNMR 1706DZSR (-M, -R),
- dílce byly standardně obráběny frézami $D = 200 \text{ mm}$ osazenými VBD typu SPKN 1504, avšak se značně neefektivním způsobem (vysoká spotřeba VBD, nízká produktivita práce),
- nyní používaným frézovacím nástrojem pro obrábění dílců pro energetický průmysl je fréza o průměru $D = 200 \text{ mm}$ osazená kruhovými VBD typu RCKT 2006MO-PM; 4240 (výrobce Sandvik Coromant),
- zákazník je schopen na jedno osazení frézy VBD RCKT 2006MO-PM; 4240 obrobít jednu stranu plochy dílce dle řezných podmínek uvedených v tabulce 6.21,
- nejčastěji vyskytujícím se materiálem dílců je chrom-molybdenová-vanad-niobová litá ocel jakosti GX-12CrMoVNb-X s 9% obsahem chromu, třídy obrobitelnosti 9b,
- při obrábění s prototypem nástroje Pramet 200C12R-F60SN17X-2 se zubové mezery frézy značně zaplňovaly obráběným materiálem,

- g) VBD z materiálu 8230 s geometrií -M nebyly schopny pracovat s daným typem a způsobem upnutí obrobku (chvění a vibrace značným způsobem přispívaly k vysokému opotřebovávání a v konečném důsledku k poškození VBD),
- h) VBD z materiálu 8026T s geometrií -R byly rámcově lepší oproti 8230; -M, avšak rovněž bez výraznějšího úspěchu v porovnání s VBD typu RCKT 2008 od firmy Sandvik Coromant,
- i) můžeme konstatovat, že VBD jak z materiálu 8230, tak z 8026T nebyly schopny daný typ materiálu obrobku efektivně a ekonomicky obrobit;
- j) způsob upnutí, chvění a vibrace negativně přispěly k průběhu celé řezné zkoušky, nicméně dle slov obsluhy, je takový způsob upnutí obrobků zcela běžný.

6.2.3 Vyhodnocení funkčních zkoušek obrábění

Funkční zkoušky obrábění si kladly za cíl odzkoušet a zkontrolovat funkčnost nástroje z mnoha hledisek. Základem funkčnosti nástroje je schopnost nástroje vykonávat práci, pro kterou byl určen. Odebírat obráběný materiál, utvářet třísku tak, aby vyhovovala požadavkům pro její následný transport, chod nástroje v řezu tak, aby byla dosažená požadovaná přenos a jakost obrobené plochy vzhledem k vibracím a chvěním, které proces obrábění doprovází. Nepřehlédnutelným faktorem je rovněž hledisko otěru nástroje od odchozí třísky, vznik a přenos tepla při procesu řezání, prověření skutečného rozsahu posuvů na zub f_z , pro danou geometrii VBD při různých hloubkách řezu a_p apod.

Funkční zkoušky obrábění v rozsahu, ve kterém byly provedeny na zkušebně obrábění Pramet, potvrdily vysokou funkčnost fréz řady F60SN17X a jejich VBD. Obě geometrie destiček (SNMR 1706DZSR-M a SNMR 1706DZSR-R) jsou schopny pracovat v rozsazích, pro které byly zkonstruovány a určeny. Nutné je přihlídnout k faktu, že funkční zkoušky obrábění na zkušebně poskytují základní informace o nástroji jako takovém.

Následné odzkoušení u zákazníků potvrdí dosažené výsledky řezných zkoušek obrábění ze zkušebny. Nástroj v reálných podmínkách pracuje zdařile. Výsledky řezných zkoušek jsou ovlivněny mnoha faktory:

- jakost obráběného materiálu,
- stav z hlediska okují, vměstků a nečistot, povrchové kůry, tepelného zpracování apod.,
- řezné prostředí (bez použití nebo s použitím procesní kapaliny),
- řezné podmínky, především z hlediska volby hloubky řezu a_p ovlivněné přídatky na obrábění pro operaci hrubování a dokončování,
- požadavky na přesnost a jakost obrobené plochy,
- vyložení nástroje v návaznosti na tuhost celé soustavy S-O-N.

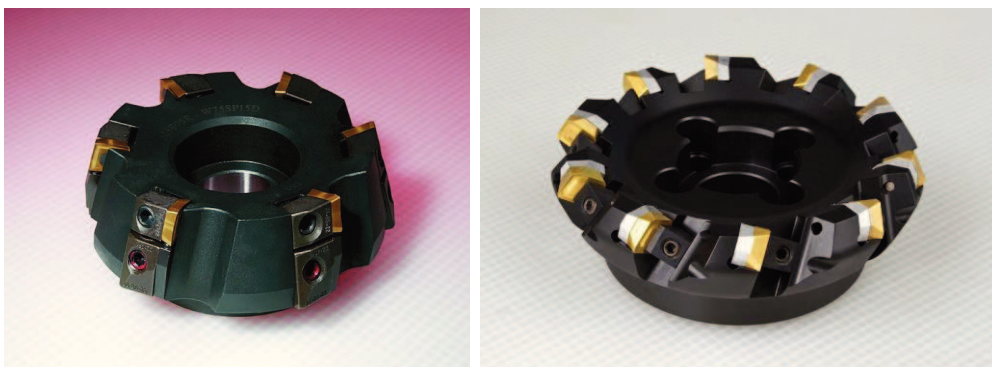
Souhrnně můžeme hodnotit funkční zkoušky obrábění za vyhovující a nástroj má velký potenciál pro aplikace, pro které byl navržen.

6.3 Řezné vlastnosti prototypu

Řezné vlastnosti prototypu, tak jak jsou popsány v kapitole 5.3, byly prověřeny s následujícími nástroji:

- prototyp frézy řady F60SN17X s VBD typu SNMR 1706DZSR-M,
- prototyp frézy řady F60SN17X s VBD typu SNMR 1706DZSR-R,
- stávající typ frézy řady W75SP15D s VDB typu SPKR 1504EDSR,
- stávající typu frézy řady W75SP15D s VDB typu SPKN 1504EDSR.

Konstrukce fréz řady W75SP15D (obr. 6.33, vlevo) pro VBD typu SPKR 1504EDSR a SPKN 1504EDSR patří do skupiny fréz určených k inovaci (kapitola 2.1). Nástupcem této stávající řady frézovacích nástrojů je nová řada fréz F60SN17X (obr. 6.33, vpravo) s VBD typu SNMR 1706DZSR-M a SNMR 1706DZSR-R.



Obr. 6.33 Frézovací nástroje
(vlevo – fréza řady W75SP15D; vpravo – fréza řady F60SN17X)

6.3.1 Zkoušky obrábění na zkušebně

Před zahájením zkoušek obrábění byly vybrány vzorky VBD ze sortimentu uvedeném na obrázku 6.34:

- SNMR 1706DZSR-R; 8230,
- SNMR 1706DZSR-M; 8230,
- SPKN 1504EDSR; 8230,
- SPKR 1504EDSR; 8230.



Obr. 6.34 Vzorky VBD v krabičkách PRAMET pro zkoušky trvanlivosti obrábění

6.3.1.1 Zkoušky trvanlivosti T a řezivosti K

Pro vlastní řeznou zkoušku na zjištění trvanlivosti T a řezivosti K u VBD byly ze všech vzorků VBD uvedených v kapitolách 5.1.2 vybrány ty, které splňovaly požadavek na shodu svých rozměrových vlastností, především z hlediska velikosti šířky fazetky t a velikosti zaoblení řezné hrany R_{ϵ} .

Z proměřených vzorků VBD ke zkouškám byly vybrány následující vzorky:

- a) SNMR 1706DZSR-M; 8230 v počtu 4 kusů,
- b) SNMR 1706DZSR-R; 8230 v počtu 4 kusů,
- c) SPKN 1504EDSR; 8230 v počtu 4 kusů,
- d) SPKR 1504EDSR; 8230 v počtu 4 kusů.

Vybrané VBD byly pracovně označeny písmeny A až D a pořadovými čísly 1 až 4.

6.3.1.1.1 Zkoušky na oceli 12 050 (C45)

Obráběným materiálem pro zkoušky trvanlivosti byla ocel jakosti 12 050.9 s rozměry polotovaru obrobku, délkou 800 mm, šířkou 100 mm a výškou 300 mm. Skladba vzorků VBD pro zkoušku trvanlivosti a řezivosti na oceli 12 050.9 je uvedena v tabulce 6.25. Základní technické parametry stroje a obrobku jsou uvedeny v tabulce 6.26. Řezné podmínky zkoušky obrábění jsou uvedeny v tabulce 6.27.

Tab. 6.25 Vzorky VBD ke zkoušce trvanlivosti a řezivosti - ocel 12 050.9

Označení VBD (ISO)	Materiál VBD	Označení vzorku (-)	Velikost fazetky t (mm)	Poloměr zaoblení R_{ϵ} (μm)	Odchylka ΔR_{ϵ} (μm)
SNMR 1706DZSR-M	8230	A2	0,165	53	2
SNMR 1706DZSR-M	8230	A3	0,164	55	0
SNMR 1706DZSR-R	8230	B1	0,242	55	4
SNMR 1706DZSR-R	8230	B2	0,250	54	4
SPKN 1504EDSR	8230	C2	0,168	33	3
SPKN 1504EDSR	8230	C4	0,173	30	3
SPKR 1504EDSR	8230	D2	0,208	27	5
SPKR 1504EDSR	8230	D4	0,200	31	3

Tab. 6.26 Základní technické parametry stroje a obrobku - obrábění oceli 12 050.9

Stroj	Typ	FCV 63 SCA
	Výkon	32 kW
	Technický stav	80 %
Obrobek	Obráběný materiál dle ČSN	12 050.9
	Skupina materiálu podle ISO 513	P
	Tvrdost	208 HB

Tab. 6.27 Řezné podmínky zkoušky trvanlivosti a řezivosti - ocel 12 050.9

Nástroj	Výrobce	PRAMET	PRAMET
	Označení	160C10R-F60SN17X-1 160C10R-F60SN17X-2	160C08R-W75SP15D
	VBD	SNMR 1706DZSR-M SNMR 1706DZSR-R	SPKN 1504EDSR SPKR 1504EDSR
	Jakost SK	8230	8230
Pracovní podmínky	Řezná rychlost v_c (m . min ⁻¹)	240	240
	Otáčky n (1 . min ⁻¹)	382	382
	Posuv f (mm . min ⁻¹)	134	134
	Posuv f_z (mm)	0,35	0,35
	Axiální hloubka řezu a_p (mm)	3,00	3,00
	Radiální hloubka řezu a_e (mm)	100	100
	Počet VBD ve fríze i (-)	1	1
	Obráběná délka l (mm)	800	800
	Povrchová kůra	ne	ne
	Procesní kapalina	ne	ne
	Přerušovaný řez	ne	ne
	Časový interval Δt (min)	6,00	6,00

Výsledky řezných zkoušek *trvanlivosti obrábění a řezivosti na oceli 12 050.9* můžeme shrnout do následujících bodů:

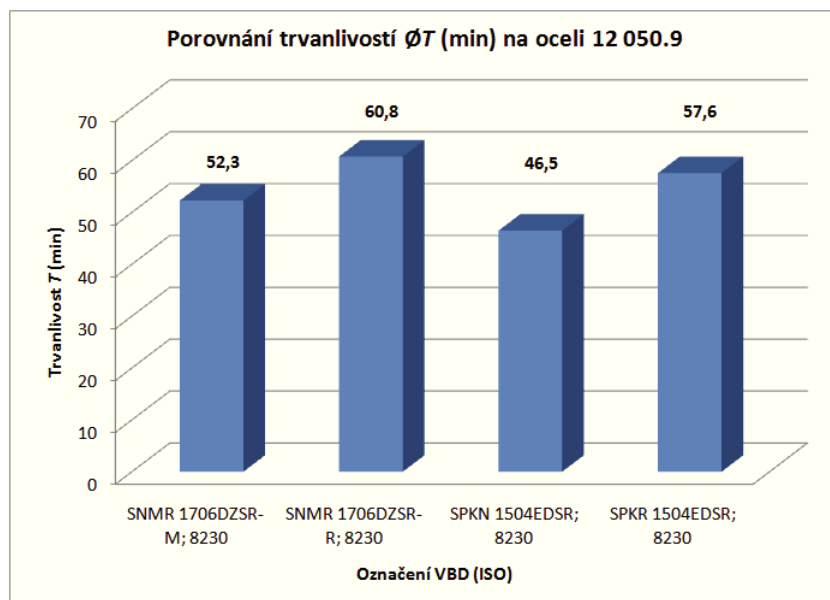
- a) ze souboru řezných zkoušek se vzorky VBD (tab. 6.25) podle řezných podmínek (tab. 6.27) byly získány výsledky trvanlivostí a řezivosti uvedené v tabulce 6.28,

Tab. 6.28 Výsledky trvanlivosti obrábění a řezivosti na oceli 12 050.9

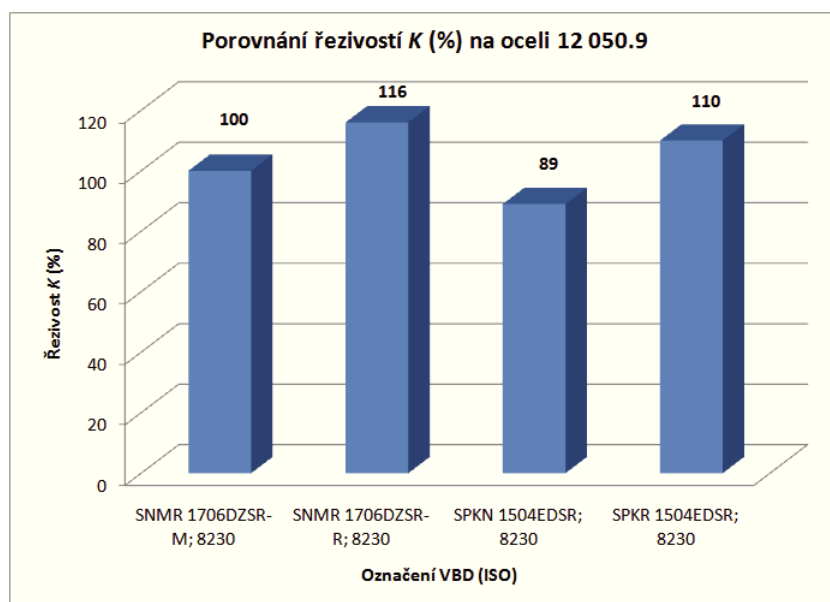
Označení VBD (ISO)	Označení vzorku (-)	Trvanlivost T (min)	Trvanlivost $\varnothing T$ (min)	Řezivost K (%)	Rozptyl ΔT (%)
SNMR 1706DZSR-M; 8230	A2	53,2	52,3	100	1,8
	A3	51,3			
SNMR 1706DZSR-R; 8230	B1	57,7	60,8	116	5,0
	B2	63,8			
SPKN 1504EDSR; 8230	C2	51,0	46,5	89	9,7
	C4	42,0			
SPKR 1504EDSR; 8230	D2	52,3	57,6	110	9,1
	D4	62,8			

- b) nejlepších výsledků trvanlivosti T při daných řezných podmínkách dosáhly destičky SNMR 1706DZSR-R; 8230 a dále SPKR 1504EDSR; 8230,
c) nejhorších výsledků trvanlivosti dosáhly destičky SPKN 1504EDSR; 8230,
d) hodnoty řezivosti K byly v rámci výsledků zkoušky trvanlivosti vztaženy k provedení a geometrii destičky SNMR 1706DZSR-M ;8230,
e) hodnoty řezivosti K jsou počítány k průměrné hodnotě trvanlivosti $\varnothing T$ a vykazují rozptyl dosažených hodnot ΔT ,
f) grafické znázornění výsledků trvanlivostí $\varnothing T$ a řezivostí K jsou uvedeny v grafu 6.1 a grafu 6.2,

- g) v průběhu řezných zkoušek byly průběžně pořizovány snímky vzrůstajícího opotřebení na čele a hřbetě destičky; časové náročnosti ale pouze na jednom z testované dvojice vzorků,
- h) v tabulce 6.29 jsou znázorněny snímky čelních ploch (čel) zkoušených vzorků destiček s nárůstem opotřebení v příslušné minutě od počátku řezné zkoušky,
- i) v tabulce 6.30 jsou znázorněny snímky hřbetních ploch (hřbetů) zkoušených vzorků destiček s nárůstem opotřebení v příslušné minutě od počátku řezné zkoušky,



Graf 6.1 Výsledek řezné zkoušky na oceli 12 050.9 – trvanlivost $\varnothing T$ (min)

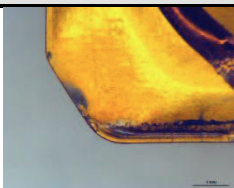
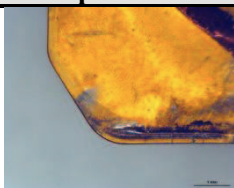
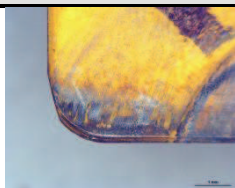
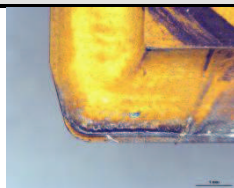
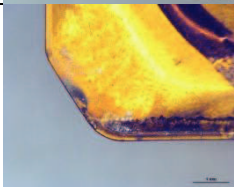
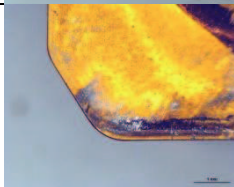
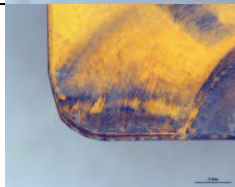
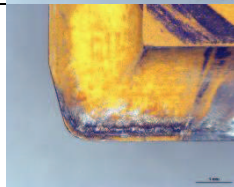

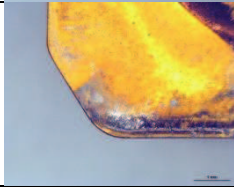


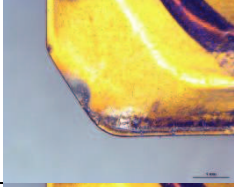


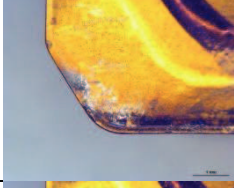


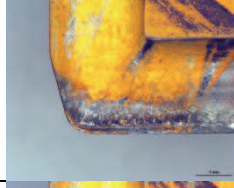
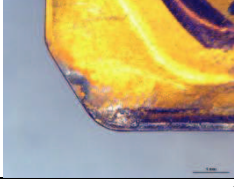
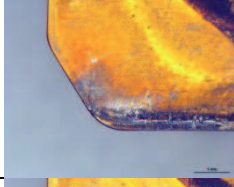





Graf 6.2 Výsledek řezné zkoušky na oceli 12 050.9 – řezivost K (%)

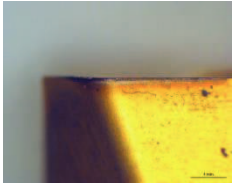
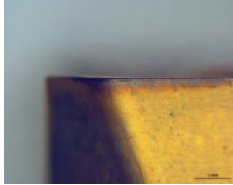
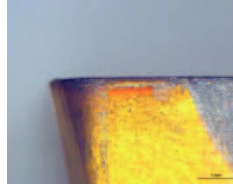
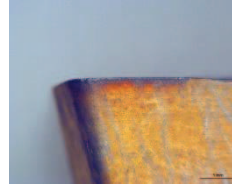
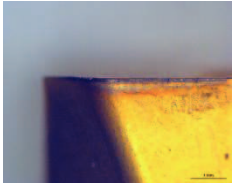
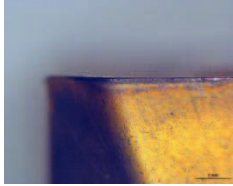
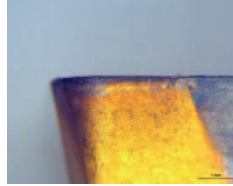
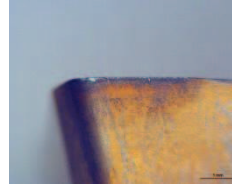
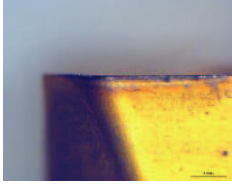
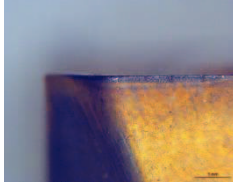

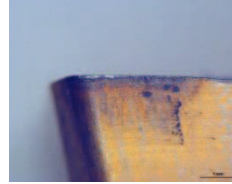
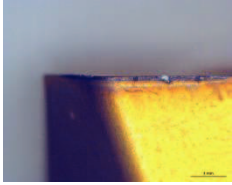
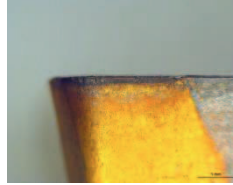
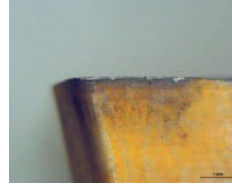
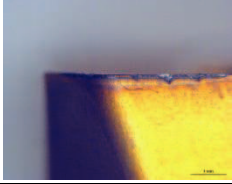
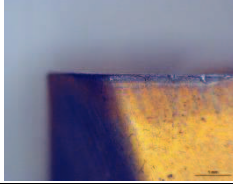
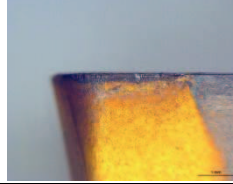
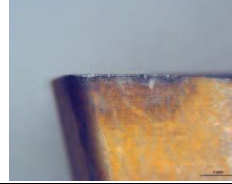
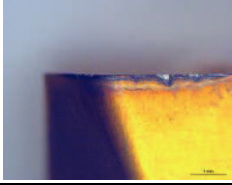
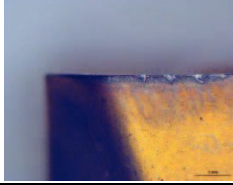
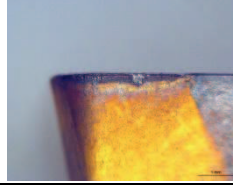
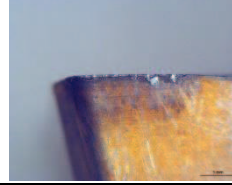
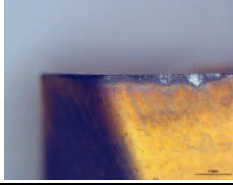
- j) průběžně během zkoušek obrábění na trvanlivost byla v časovém intervalu 6 minut (2 x 3 minuty) prováděna měření základních parametrů opotřebení VBD dle ISO 3685 (opotřebení hlavního hřbetu břitu VB_B , opotřebení hlavního hřbetu břitu na špičce destičky VB_C a opotřebení vedlejšího hřbetu břitu VB_V), na dílenském mikroskopu typu DC (obr. 5.10, kapitola 5.1.2.4),

- k) naměřené hodnoty opotřebení VBD jsou uvedeny v tabulce 6.31,
- l) grafické znázornění průběhu opotřebení hlavního hřbetu bříty VB_B je znázorněno v grafu 6.3,
- m) grafické znázornění průběhu opotřebení hlavního hřbetu bříty na špičce destičky VB_C je znázorněno v grafu 6.4,
- n) grafické znázornění průběhu opotřebení vedlejšího hřbetu bříty VB_V je znázorněno v grafu 6.5.

Tab. 6.29 Průběh opotřebení VBD na čele - ocel 12 050.9

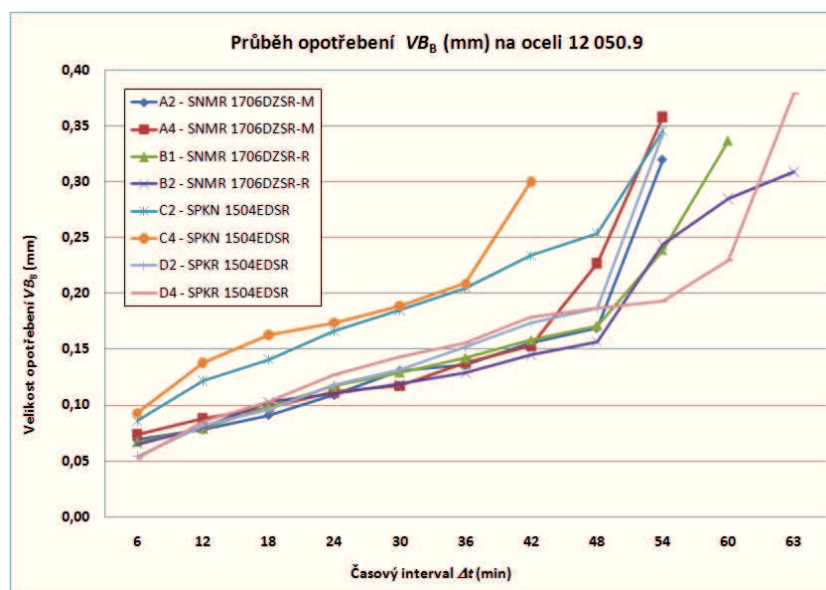
Ozn. VBD	SNMR 1706DZSR -M; 8230	SNMR 1706DZSR -R; 8230	SPKN 1504EDSR; 8230	SPKR 1504EDSR; 8230
Ozn. vzorku VBD	A2	B1	C2	D2
Stav opotřebení v dané minutě				
12. minuta				
24. minuta				
36. minuta				
42. minuta				
48. minuta				
54. minuta				
60. minuta				

Tab. 6.30 Průběh opotřebení VBD na hřbetě - ocel 12 050.9

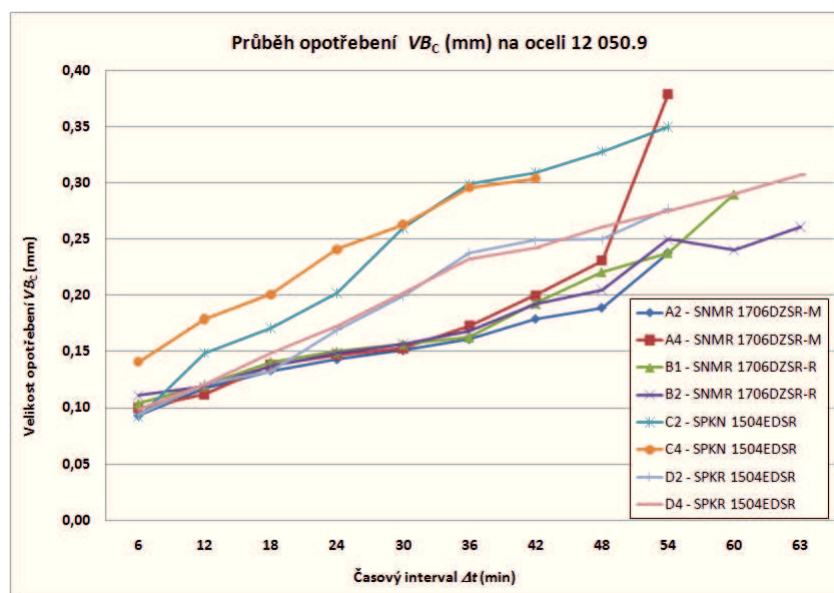
Ozn. VBD	SNMR 1706DZSR -M; 8230	SNMR 1706DZSR -R; 8230	SPKN 1504EDSR; 8230	SPKR 1504EDSR; 8230
Ozn. vzorku VBD	A2	B1	C2	D2
Stav opotřebení v dané minutě				
12. minuta				
24. minuta				
36. minuta				
42. minuta				
48. minuta				
54. minuta				
60. minuta				

Tab. 6.31 Naměřené hodnoty opotřebení VBD na oceli 12 050.9

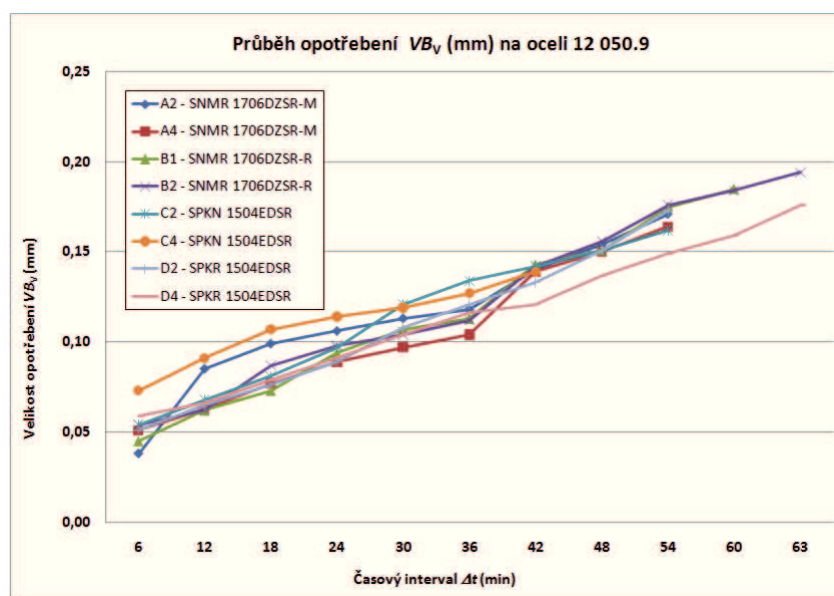
Označení vzorku VBD	Parametr (mm)	Časový interval Δt (min)											Trvanlivost T (min)
		6,0	12,0	18,0	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0	54,0	60,0	66,0	
A2	VB_B	0,069	0,078	0,091	0,109	0,131	0,136	0,156	0,169	0,320	-	-	53,2
	VB_C	0,093	0,117	0,133	0,143	0,151	0,161	0,179	0,189	0,238	-	-	
	VB_V	0,038	0,085	0,099	0,106	0,113	0,118	0,140	0,154	0,171	-	-	
A4	VB_B	0,074	0,088	0,098	0,112	0,117	0,138	0,153	0,227	0,358	-	-	51,3
	VB_C	0,100	0,112	0,138	0,147	0,153	0,173	0,200	0,231	0,379	-	-	
	VB_V	0,051	0,063	0,077	0,089	0,097	0,104	0,139	0,150	0,164	-	-	
B1	VB_B	0,067	0,079	0,099	0,117	0,129	0,142	0,158	0,171	0,239	0,337	-	57,7
	VB_C	0,104	0,120	0,141	0,150	0,157	0,163	0,193	0,221	0,238	0,290	-	
	VB_V	0,045	0,062	0,073	0,094	0,107	0,113	0,143	0,151	0,175	0,185	-	
B2	VB_B	0,065	0,080	0,103	0,110	0,119	0,129	0,145	0,157	0,244	0,285	0,309	63,8
	VB_C	0,111	0,119	0,137	0,149	0,157	0,168	0,192	0,205	0,250	0,240	0,261	
	VB_V	0,054	0,062	0,087	0,098	0,104	0,112	0,142	0,156	0,176	0,184	0,194	
C2	VB_B	0,086	0,122	0,141	0,166	0,185	0,205	0,234	0,254	0,346	-	-	51,0
	VB_C	0,092	0,149	0,171	0,202	0,260	0,299	0,309	0,328	0,350	-	-	
	VB_V	0,054	0,068	0,081	0,097	0,121	0,134	0,142	0,151	0,162	-	-	
C4	VB_B	0,093	0,138	0,163	0,174	0,189	0,209	0,300	-	-	-	-	42,0
	VB_C	0,141	0,179	0,201	0,241	0,263	0,296	0,304	-	-	-	-	
	VB_V	0,073	0,091	0,107	0,114	0,119	0,127	0,139	-	-	-	-	
D2	VB_B	0,054	0,082	0,096	0,118	0,132	0,152	0,174	0,187	0,343	-	-	52,3
	VB_C	0,094	0,121	0,133	0,169	0,199	0,238	0,249	0,250	0,277	-	-	
	VB_V	0,051	0,065	0,076	0,089	0,108	0,121	0,133	0,151	0,173	-	-	
D4	VB_B	0,052	0,085	0,103	0,127	0,143	0,156	0,179	0,187	0,193	0,230	0,379	62,8
	VB_C	0,099	0,121	0,149	0,173	0,202	0,232	0,242	0,261	0,275	0,290	0,307	
	VB_V	0,059	0,066	0,079	0,091	0,104	0,116	0,121	0,137	0,149	0,159	0,176	



Graf 6.3 Průběh opotřebení hlavního hřbetu ostří VB_B na oceli 12 050.9



Graf 6.4 Průběh opotřebení hlavního hřbetu břitu na špičce destičky VB_C na oceli 12 050.9



Graf 6.5 Průběh opotřebení vedlejšího hřbetu ostří VB_V na oceli 12 050.9

6.3.1.1.2 Zkoušky na korozivzdorné oceli 17 349 (X2 CrNiMo 17-12-2)

Obráběným materiálem pro zkoušky trvanlivosti a řezivosti je korozivzdorná ocel jakosti 17 349.4 s rozměry polotovaru obrobku (délka 300 mm, šířka 100 mm, výška 300 mm). Skladba vzorků VBD pro zkoušku trvanlivosti a řezivosti na korozivzdorné oceli 17 349.4 je uvedena v tabulce 6.32. Základní technické parametry stroje a obrobku jsou uvedeny v tabulce 6.33. Řezné podmínky zkoušky obrábění jsou uvedeny v tabulce 6.34.

I v tomto případě jsou v průběhu zkoušek trvanlivosti obrábění destičky po určitém časovém intervalu pravidelně měřeny na opotřebení a i zde jsou pořizovány snímky opotřebení na příslušných destičkách. Kritériem trvanlivosti řezného ostří podle normy ČSN-ISO 8688-1 je dosažení hodnoty opotřebení na hřbetě $VB_B = 0,3$ mm.

Tab. 6.32 Vzorky VBD ke zkoušce trvanlivosti a řezivosti - ocel 17 349.4

Označení VBD (ISO)	Materiál VBD	Označení vzorku (-)	Velikost fazetky t (mm)	Poloměr zaoblení R_e (μm)	Odchylka ΔR_e (μm)
SNMR 1706DZSR-M	8230	A2	0,166	51	1
SNMR 1706DZSR-M	8230	A3	0,167	47	2
SNMR 1706DZSR-R	8230	B3	0,245	54	8
SNMR 1706DZSR-R	8230	B4	0,250	57	5
SPKN 1504EDSR	8230	C2	0,176	33	3
SPKN 1504EDSR	8230	C3	0,175	30	2
SPKR 1504EDSR	8230	D1	0,212	28	3
SPKR 1504EDSR	8230	D2	0,208	24	3

Tab. 6.33 Základní technické parametry stroje a obrobku - ocel 17 349.4

Stroj	Typ	FCV 63 SCA
	Výkon	32 kW
	Technický stav	80 %
Obrodek	Obráběný materiál dle ČSN	17 349.4
	Skupina materiálu podle ISO 513	M
	Tvrdość	170 HB

Tab. 6.34 Řezné podmínky zkoušky trvanlivosti a řezivosti - ocel 17 349.4

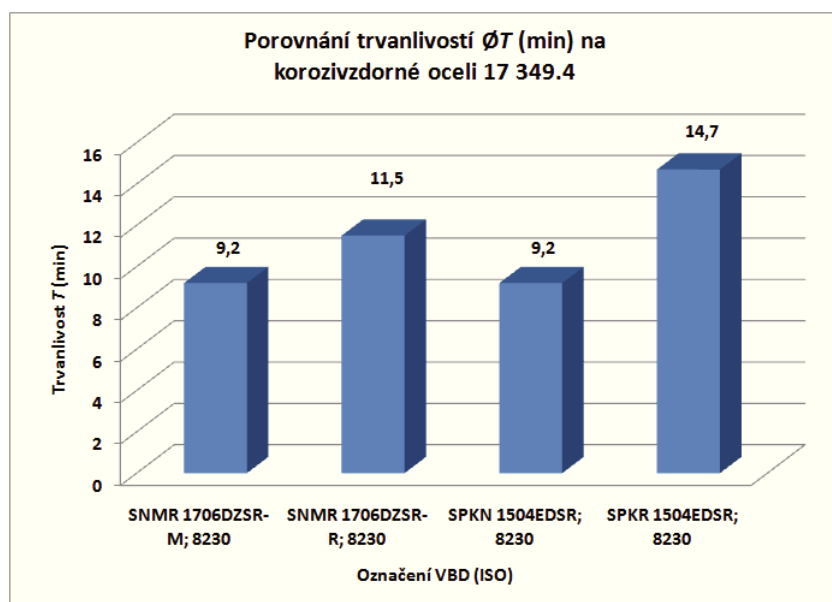
Nástroj	Výrobce	PRAMET	PRAMET
	Označení	160C10R-F60SN17X-1;-2	160C08R-W75SP15D
	VBD	SNMR 1706DZSR-M; -R	SPKN(R) 1504EDSR
	Jakost SK	8230	8230
Pracovní podmínky	Řezná rychlost v_c ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	110	110
	Otáčky n ($1 \cdot \text{min}^{-1}$)	219	219
	Posuv f ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	66	66
	Posuv f_z (mm)	0,30	0,30
	Axiální hloubka řezu a_p (mm)	2,50	2,50
	Radiální hloubka řezu a_e (mm)	100	100
	Počet VBD ve fríze i (-)	1	1
	Obráběná délka l (mm)	300	300
	Procesní kapalina	ne	ne
	Časový interval Δt (min)	4,6	4,6

Tab. 6.35 Výsledky trvanlivosti obrábění a řezivosti na korozivzdorné oceli 17 349.4

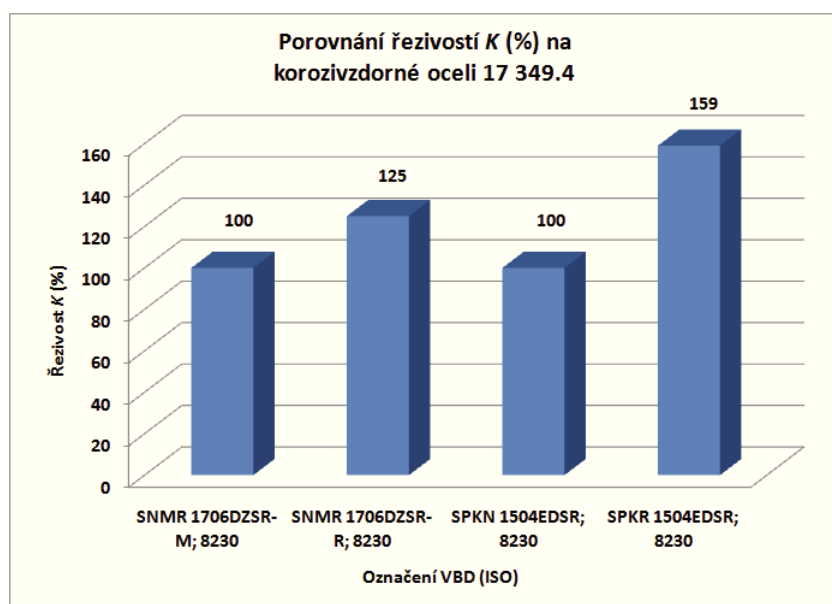
Označení VBD (ISO)	Označení vzorku (-)	Trvanlivost T (min)	Trvanlivost σT (min)	Řezivost K (%)	Rozptyl ΔT (%)
SNMR 1706DZSR-M; 8230	A2	9,2	9,2	100	-
	A3	9,2			
SNMR 1706DZSR-R; 8230	B3	13,8	11,5	125	20
	B4	9,2			
SPKN 1504EDSR; 8230	C2	9,2	9,2	100	-
	C3	9,2			
SPKR 1504EDSR; 8230	D1	13,8	14,7	159	5,8
	D2	15,5			

Výsledky řezných zkoušek *trvanlivosti obrábění a řezivosti na korozivzdorné oceli 17 349.4* můžeme shrnout do následujících bodů:

- ze souboru řezných zkoušek se vzorky VBD (tab. 6.32) podle řezných podmínek (tab. 6.34) byly získány výsledky trvanlivostí a řezivosti uvedených v tabulce 6.35,
- nejlepších výsledků trvanlivosti T při daných řezných podmínkách dosáhly destičky SPKR 1504EDSR; 8230 a dále SNMR 1706DZSR-R; 8230,
- stejných výsledků trvanlivosti T dosáhli destičky SNMR 1706DZSR-M; 8230 a SPKN 1504EDSR; 8230,
- hodnoty řezivosti K byly v rámci výsledků zkoušky trvanlivosti vztaženy k provedení a geometrii destičky SNMR 1706DZSR-M ;8230,
- hodnoty řezivosti K jsou počítány k průměrné hodnotě trvanlivosti $\bar{\sigma}T$ a vykazují rozptyl dosažených hodnot ΔT ,
- grafické znázornění výsledků trvanlivostí $\bar{\sigma}T$ a řezivosti K jsou uvedeny v grafu 6.6 a grafu 6.7.



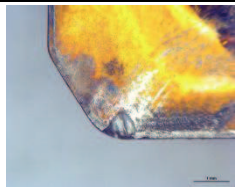
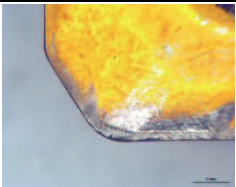
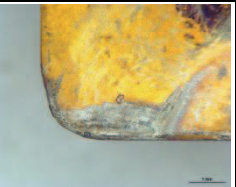

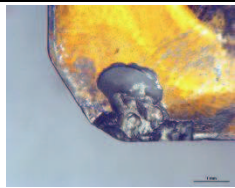
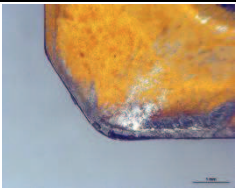




Graf 6.6 Výsledek řezné zkoušky na oceli 17 349.4 - trvanlivost $\bar{\sigma}T$ (min)



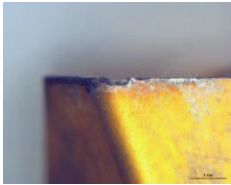
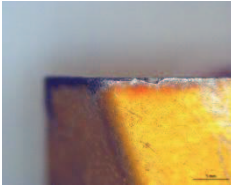
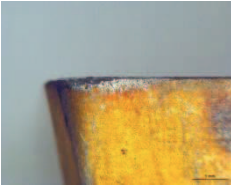
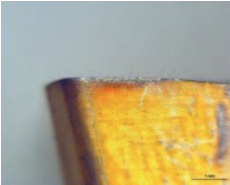
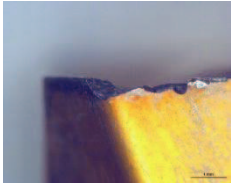
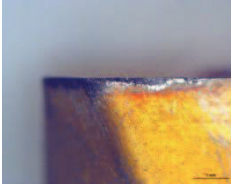
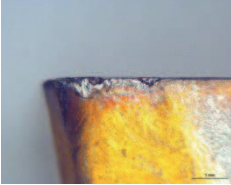
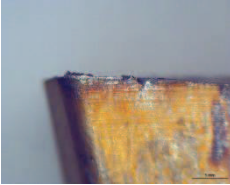
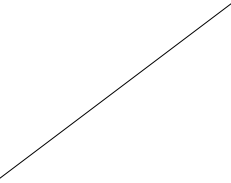
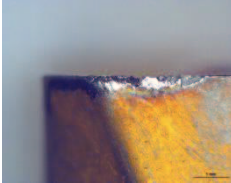
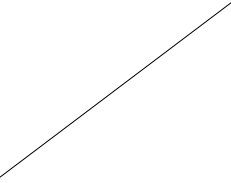
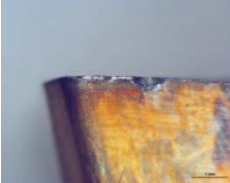
Graf 6.7 Výsledek řezné zkoušky na oceli 17 349.4 - řezivost K (%)

- g) v průběhu řezných zkoušek byly průběžně pořizovány snímky vzrůstajícího opotřebení na čele a hřbetě destičky; časové náročnosti ale pouze na jednom z testované dvojice vzorků,
- h) v tabulce 6.36 jsou znázorněny snímky čelních ploch (čel) zkoušených vzorků destiček s nárůstem opotřebení v příslušné minutě od počátku řezné zkoušky,
- i) v tabulce 6.37 jsou znázorněny snímky hřbetních ploch (hřbetů) zkoušených vzorků destiček s nárůstem opotřebení v příslušné minutě od počátku řezné zkoušky,
- j) průběžně během zkoušek obrábění na trvanlivost byla v časovém intervalu 4 minuty 36 sekund (3 x 1 minuta 27 sekund) prováděna měření základních parametrů opotřebení VBD dle ISO 3685 (opotřebení hlavního hřbetu břitu VB_B , opotřebení hlavního hřbetu břitu na špičce destičky VB_C a opotřebení vedlejšího hřbetu břitu VB_V), na dílenském mikroskopu typu DC (obr. 5.10, kapitola 5.1.2.4),
- k) naměřené hodnoty opotřebení VBD jsou uvedeny v tabulce 6.38,
- l) grafické znázornění průběhu opotřebení hlavního hřbetu břitu VB_B je znázorněno v grafu 6.8,
- m) grafické znázornění průběhu opotřebení hlavního hřbetu břitu na špičce destičky VB_C je znázorněno v grafu 6.9,
- n) grafické znázornění průběhu opotřebení vedlejšího hřbetu břitu VB_V je znázorněno v grafu 6.10.

Tab. 6.36 Průběh opotřebení VBD na čele - korozivzdorná ocel 17 349.4

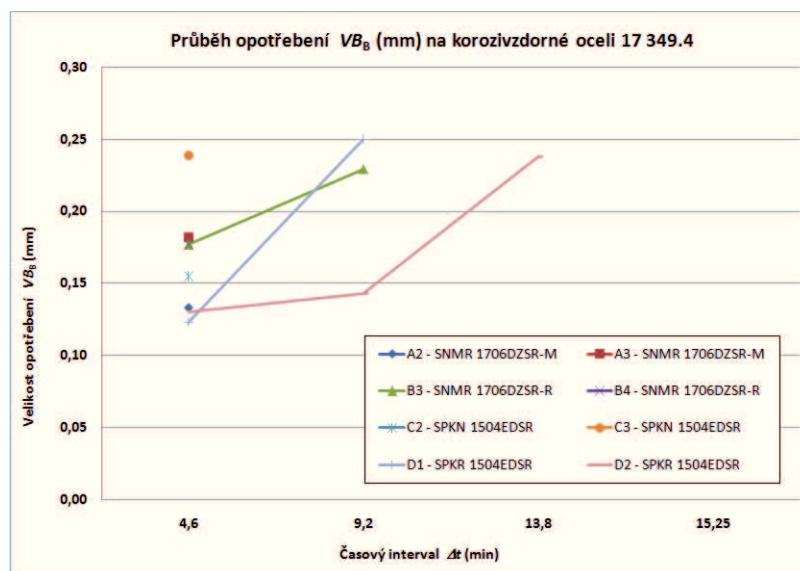
Ozn. VBD	SNMR 1706DZSR -M; 8230	SNMR 1706DZSR -R; 8230	SPKN 1504EDSR ; 8230	SPKR 1504EDSR ; 8230
	A2	B3	C2	D1
<i>Stav opotřebení v daném čase</i>				
4. minuta 36. sekunda				
9. minuta 12. sekunda				
13. minuta 48. sekunda				

Tab. 6.37 Průběh opotřebení VBD na hřbetě - korozivzdorná ocel 17 349.4

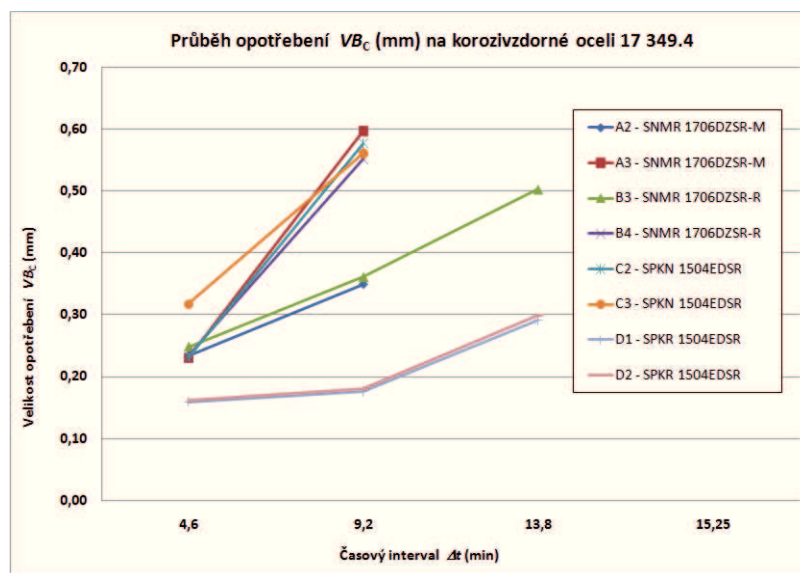
Ozn. VBD	SNMR 1706DZSR -M; 8230	SNMR 1706DZSR -R; 8230	SPKN 1504EDSR ; 8230	SPKR 1504EDSR ; 8230
	A2	B3	C2	D1
<i>Stav opotřebení v daném čase</i>				
4. minuta 36. sekunda				
9. minuta 12. sekunda				
13. minuta 48. sekunda				

Tab. 6.38 Naměřené hodnoty opotřebení VBD - korozivzdorná ocel 17 349.4

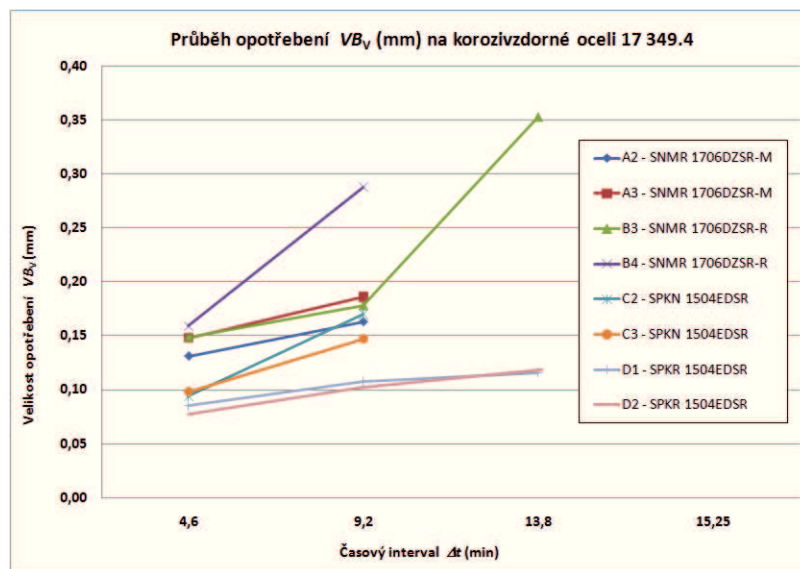
Číslo vzorku	Parametr (mm)	Časový interval Δt (min)				Trvanlivost T (min)
		4,6	9,2	13,8	18,4	
A2	VB_B	0,133	-	-	-	9,2
	VB_C	0,234	0,349	-	-	
	VB_V	0,131	0,163	-	-	
A3	VB_B	0,182	-	-	-	9,2
	VB_C	0,230	0,597	-	-	
	VB_V	0,148	0,186	-	-	
B3	VB_B	0,177	0,229	-	-	13,8
	VB_C	0,248	0,361	0,503	-	
	VB_V	0,149	0,178	0,353	-	
B4	VB_B	0,177	-	-	-	9,2
	VB_C	0,233	0,551	-	-	
	VB_V	0,159	0,288	-	-	
C2	VB_B	0,155	-	-	-	9,2
	VB_C	0,231	0,577	-	-	
	VB_V	0,094	0,170	-	-	
C3	VB_B	0,239	-	-	-	9,2
	VB_C	0,317	0,561	-	-	
	VB_V	0,098	0,147	-	-	
D1	VB_B	0,123	0,250	-	-	13,8
	VB_C	0,159	0,176	0,291	-	
	VB_V	0,085	0,108	0,116	-	
D2	VB_B	0,130	0,143	0,238	-	15,25
	VB_C	0,162	0,180	0,299	-	
	VB_V	0,077	0,102	0,118	-	



Graf 6.8 Průběh opotřebení na hlavním hřbetě břitu VB_B - korozivzdorná ocel 17 349.4



Graf 6.9 Průběh opotřebení hlavního hřbetu břitu na špičce destičky VB_C - korozivzdorná ocel 17 349.4



Graf 6.10 Průběh opotřebení vedlejšího hřbetu ostří VB_V - korozivzdorná ocel 17 349.4

6.3.1.2 Řezné síly při různých axiálních hloubkách řezu a_p

6.3.1.2.1 Měření řezných sil s frézou osazenou jednou VBD

Měření řezných sil bylo provedeno na oceli jakosti 12 050.1 (tab. 6.39) s jednou VBD osazenou do následujících typů fréz:

- 160C08R-W75SP15D s VBD typu SPKN 1504EDSR; 8230,
- 160C08R-W75SP15D s VBD typu SPKR 1504EDSR; 8230 (obr. 6.35),
- 160C10R-F60SN17X s VBD typu SNMR 1706DZSR-M; 8230,
- 160C10R-F60SN17X s VBD typu SNMR 1706DZSR-R; 8230 (obr. 6.36).

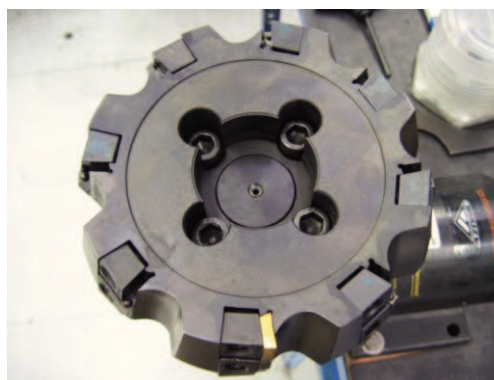
Řezné podmínky pro měření sil jsou uvedeny v tabulce 6.40.

Tab. 6.39 Základní technické parametry stroje a obrobku pro měření sil

Stroj	Typ	FCV 63
	Výkon	32 kW
	Technický stav	80 %
Obrobek	Obráběný materiál dle ČSN	12 050.1
	Skupina materiálu podle ISO 513	P
	Tvrdost	195 HB
	Rozměry	100 x 128 x 130 (mm)

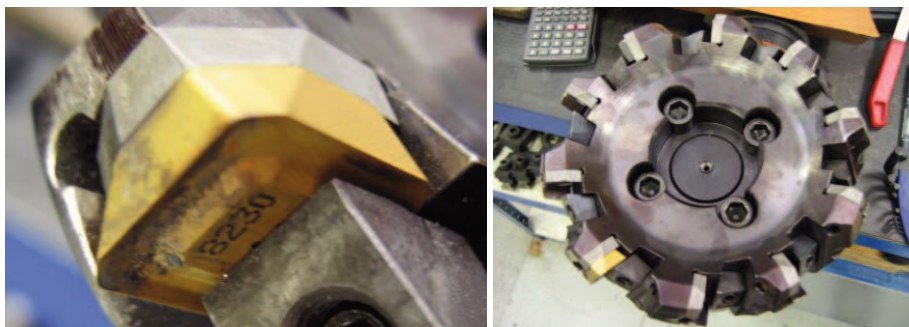
Tab. 6.40 Řezné podmínky pro měření sil při frézování s jednou VBD

Nástroj	Výrobce	PRAMET	PRAMET
	Označení	160C10R-F60SN17X-1 160C10R-F60SN17X-2	160C08R-W75SP15D
	VBD	SNMR 1706DZSR-M SNMR 1706DZSR-R	SPKN 1504EDSR SPKR 1504EDSR
	Jakost SK	8230	8230
Pracovní podmínky	Průměr frézy D (mm)	160	160
	Řezná rychlost v_c (m . min ⁻¹)	170	170
	Posuv f (mm . min ⁻¹)	65; 131; 196	65; 131; 196
	Posuv f_z (mm)	0,20; 0,40; 0,60	0,20; 0,40; 0,60
	Axiální hloubka řezu a_p (mm)	5; 10	5; 10
	Radiální hloubka řezu a_e (mm)	130	130
	Počet VBD ve fríze i (-)	1	1
	Obráběná délka l (mm)	130	130



Obr. 6.35 Fréza 160C08R-W75SP15D

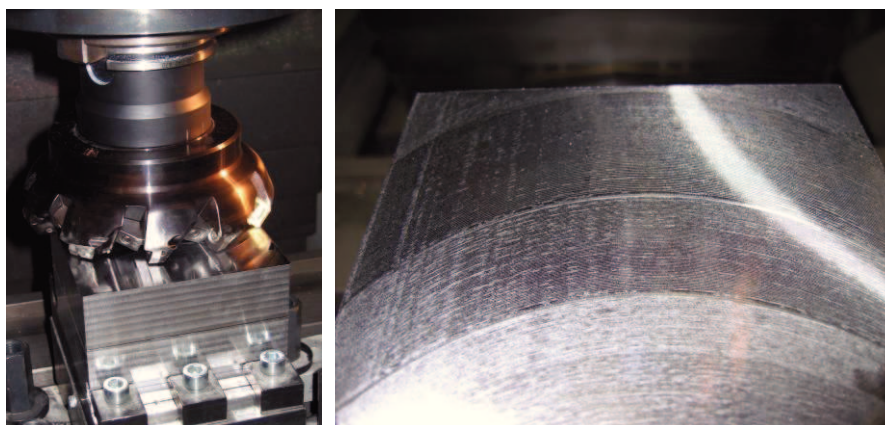
(vlevo – detail upnutí VBD typu SPKR 1504EDSR; 8230; vpravo – náhled na frézu)



Obr. 6.36 Fréza 160C10R-F60SN17X-1
(vlevo – detail upnutí VBD typu SNMR 1706DZSR-R; 8230; vpravo – náhled na frézu)

6.3.1.2.1.1 Axiální hloubka řezu $a_p = 5$ mm

Při axiální hloubce řezu $a_p = 5$ mm, byla každá fréza nasazena do obrobku v jednom záběru, avšak ve třech na sobě navzájem navazujících hodnotách posuvu na zub f_z , jmenovitě $f_z = 0,2$, $0,4$ a $0,6$ mm (viz řezné podmínky tab. 6.40). Po ukončení průjezdu frézy obrobkem, byly na obrobku patné tři sekce náležící jednotlivým posuvům na zub (obr. 6.37, vpravo).



Obr. 6.37 Měření řezných sil
(vlevo – detail záběru frézy 160C10R-F60SN17X-1 v obrobku;
vpravo – obrobený povrch obrobku se třemi sekcemi jednotlivých posuvů na zub při)

Výsledky měření řezných sil s frézami osazenými vždy *pouze jednou VBD* při axiální hloubce řezu $a_p = 5$ mm, můžeme shrnout do následujících bodů:

- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.40), při axiální hloubce řezu $a_p = 5$ mm, byly získány hodnoty řezných sil uvedených v tabulce 6.41,
- ze získaných hodnot složek řezných sil F_x , F_y a F_z byla podle vztahu 6.1, vypočtena výslednice řezných sil F_v ,
- grafické znázornění výsledné složky řezné síly F_v dle tabulky 6.41 je uvedeno v grafu 6.11,
- největších hodnot výsledné složky řezné síly F_v dosáhly VBD typu SPKN 1504EDSR, nejmenších hodnot výsledné složky řezné síly F_v dosáhly VBD typu SPKR 1504EDSR,
- z průběhu naměřených hodnot složek řezných sil byly dále analyzovány hodnoty složek řezných sil F_t , F_z , F_n při záběru 1 VBD v obráběném materiálu (tab. 6.42),

$$F_v = \sqrt{(F_x^2 + F_y^2 + F_z^2)} \quad (\text{N}) \quad (6.1)$$

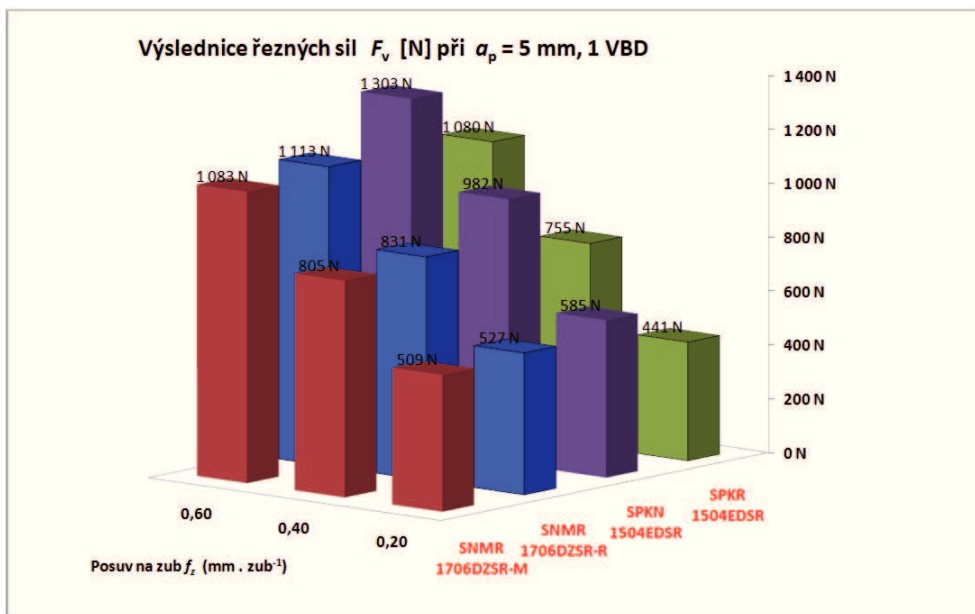
Tab. 6.41 Hodnoty složek řezných sil (F_x , F_y , F_z , F_v) s frézami osazenými 1 VBD při $a_p = 5 \text{ mm}$

Označení frézy (ISO)	Označení VBD (ISO)	Posuv na zub f_z (mm)	Počet zubů z (-)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	F_v (N)
160C10R-F60SN17X-1;-2	SNMR 1706DZSR-M	0,2	1	422	278	58	509
		0,4	1	726	348	19	805
		0,6	1	1003	406	-46	1083
	SNMR 1706DZSR-R	0,2	1	435	285	85	527
		0,4	1	746	362	55	831
		0,6	1	1032	418	-9	1113
160C08R-W75SP15D	SPKN 1504EDSR	0,2	1	466	352	41	585
		0,4	1	847	491	78	982
		0,6	1	1161	589	59	1303
	SPKR 1504EDSR	0,2	1	388	209	16	441
		0,4	1	705	269	21	755
		0,6	1	1023	346	29	1080

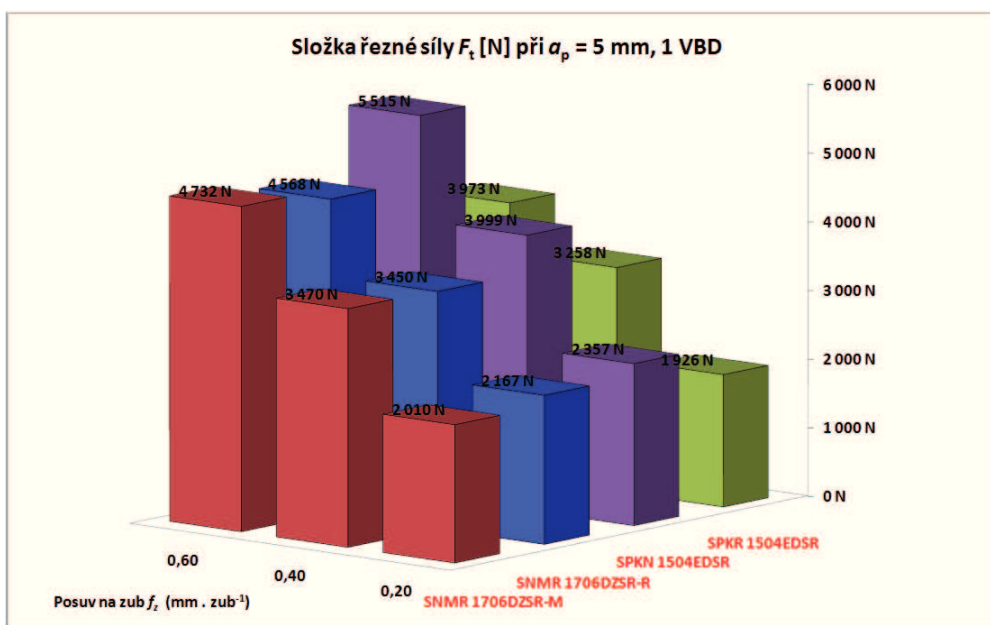
- f) největších hodnot složky řezné síly F_t (obr. 6.12) dosáhly VBD typu SPKN 1504EDSR, nejmenších hodnot složky řezné síly F_t dosáhly VBD typu SPKR 1504EDSR; oba výsledky korespondují s velikostí výslednice řezných sil F_v .

Tab. 6.42 Hodnoty složek řezných sil (F_t , F_z , F_n) s frézami osazenými 1 VBD při $a_p = 5 \text{ mm}$

Označení frézy (ISO)	Označení VBD (ISO)	Posuv na zub f_z (mm)	Počet zubů z (-)	F_t (N)	F_z (N)	F_n (N)
160C10R-F60SN17X-1;-2	SNMR 1706DZSR-M	0,2	1	2010	319	288
		0,4	1	3470	157	428
		0,6	1	4732	-111	629
	SNMR 1706DZSR-R	0,2	1	2167	360	511
		0,4	1	3450	238	597
		0,6	1	4568	-3	714
160C08R-W75SP15D	SPKN 1504EDSR	0,2	1	2357	414	493
		0,4	1	3999	519	1048
		0,6	1	5515	430	539
	SPKR 1504EDSR	0,2	1	1926	134	504
		0,4	1	3258	298	350
		0,6	1	3973	189	313



Graf 6.11 Výslednice řezných sil F_v při $a_p = 5$ mm (1 VBD ve fríze)



Graf 6.12 Složka řezné síly F_t při $a_p = 5$ mm (1 VBD ve fríze)

6.3.1.2.1.2 Axiální hloubka řezu $a_p = 10$ mm

Při měření řezných sil při axiální hloubce řezu $a_p = 10$ mm, bylo postupováno analogicky podle předchozí kapitoly 6.3.1.2.1.1. Opět i zde byl při jednom průjezdu frézy obrobkem postupně měněn posuv na zub f_z v hodnotách 0,2; 0,4 a 0,6 mm podle řezných podmínek uvedených v tabulce 6.40.

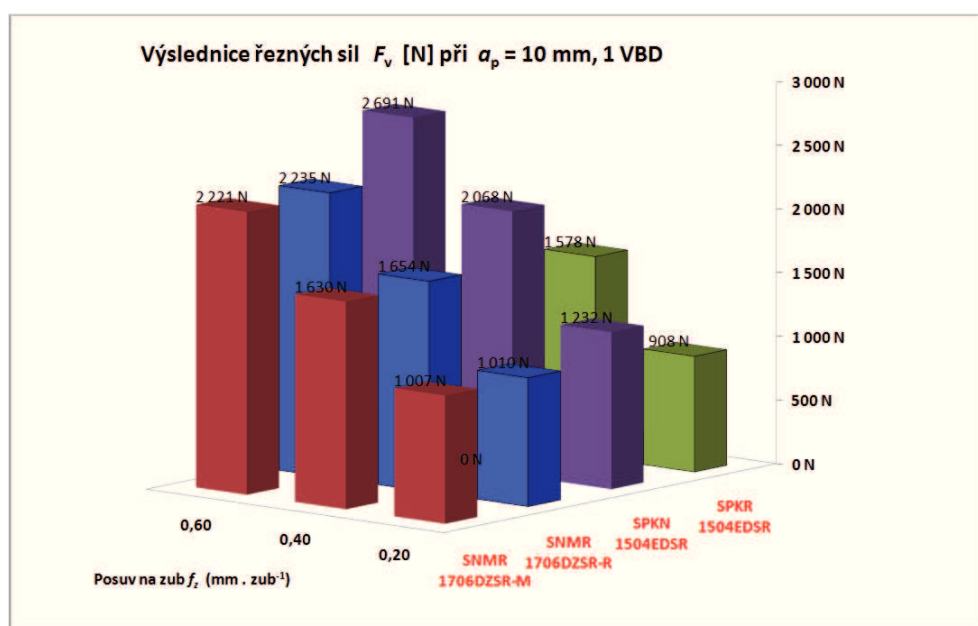
Výsledky měření řezných sil s frézami osazenými vždy *pouze jednou VBD* při axiální hloubce řezu $a_p = 10$ mm, můžeme shrnout do následujících bodů:

- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.40), při axiální hloubce řezu $a_p = 10$ mm, byly získány hodnoty řezných sil uvedených v tabulce 6.43,
- ze získaných složek řezných sil F_x , F_y a F_z byla podle vztahu 6.1, vypočtena výslednice řezných sil F_v ,

- c) grafické znázornění výsledné složky řezné síly F_v dle tabulky 6.43 je uvedeno v grafu 6.13,
- d) největších hodnot výsledné složky řezné síly F_v dosáhly opět VBD typu SPKN 1504EDSR, nejmenších hodnot výsledné složky řezné síly F_v dosáhly VBD typu SPKR 1504EDSR; při posuvu na zub $f_z = 0,60$ mm došlo k destrukci destičky SPKR 1504EDSR,

Tab. 6.43 Hodnoty složek řezných sil (F_x , F_y , F_z , F_v) s frézami osazenými 1 VBD při $a_p = 10$ mm

Označení frézy (ISO)	Označení VBD (ISO)	Posuv na zub f_z (mm)	Počet zubů z (-)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	F_v (N)
160C10R-F60SN17X-1;-2	SNMR 1706DZSR-M	0,2	1	850	521	140	1007
		0,4	1	1475	690	71	1630
		0,6	1	2055	841	-41	2221
	SNMR 1706DZSR-R	0,2	1	853	521	148	1010
		0,4	1	1494	704	89	1654
		0,6	1	2069	845	-32	2235
160C08R-W75SPI5D	SPKN 1504EDSR	0,2	1	986	711	203	1232
		0,4	1	1734	975	565	2068
		0,6	1	2384	1222	256	2691
	SPKR 1504EDSR	0,2	1	811	402	74	908
		0,4	1	1471	566	76	1578
		0,6	1	-	-	-	-



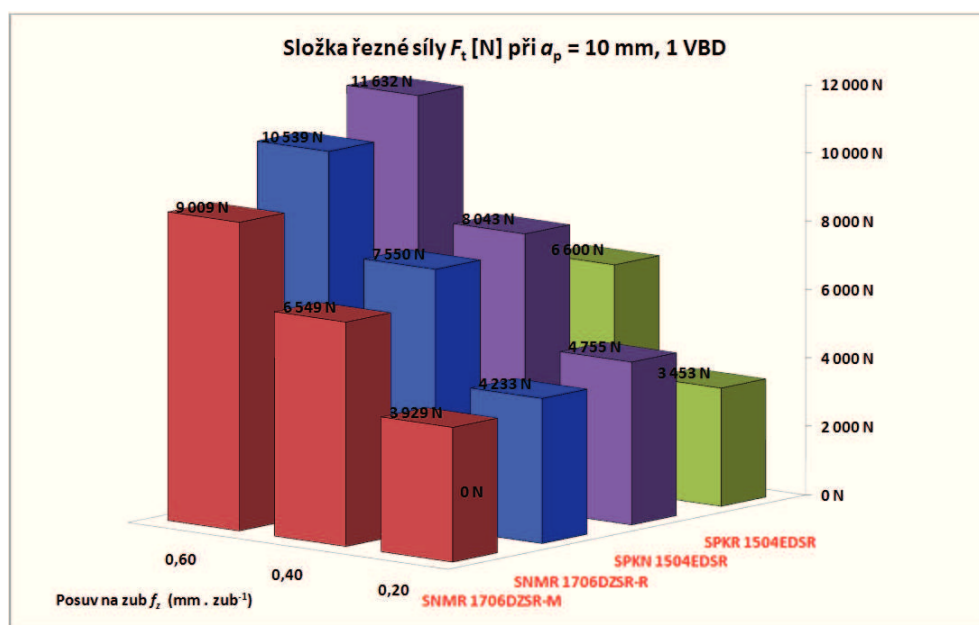
Graf 6.13 Výslednice řezných sil F_v při $a_p = 10$ mm (1 VBD ve fréze)

- e) VBD typu SPKR 1504EDSR má podle katalogu frézování Pramet doporučenou hodnotu posuvu $f_{z\max} = 0,45$ mm,
- f) z průběhu naměřených hodnot složek řezných sil byly dále analyzovány hodnoty složek řezných sil F_t , F_z , F_n při záběru 1 VBD v obráběném materiálu (tab. 6.44),
- g) grafické znázornění složky řezné síly F_t dle tabulky 6.44 je uvedeno v grafu 6.14,

Tab. 6.44 Hodnoty řezných sil (F_t , F_z , F_n) s frézami osazenými 1 VBD při $a_p = 10$ mm

Označení frézy (ISO)	Označení VBD (ISO)	Posuv na zub f_z (mm)	Počet zubů z (-)	F_t (N)	F_z (N)	F_n (N)
160C10R-F60SN17X-1;-2	SNMR 1706DZSR-M	0,2	1	3929	665	490
		0,4	1	6549	581	1855
		0,6	1	9009	53	882
	SNMR 1706DZSR-R	0,2	1	4233	830	941
		0,4	1	7550	259	987
		0,6	1	10539	-84	3658
160C08R-W75SP15D	SPKN 1504EDSR	0,2	1	4755	735	848
		0,4	1	8043	822	1642
		0,6	1	11632	1399	1089
	SPKR 1504EDSR	0,2	1	3453	371	896
		0,4	1	6600	436	1346
		0,6	1	-	-	-

- h) největších hodnot složky řezné síly F_t pro $a_p = 10$ mm, dosáhly VBD typu SPKN 1504EDSR, nejmenších hodnot složky řezné síly F_t dosáhly VBD typu SPKR 1504EDSR; oba výsledky korespondují s velikostí výslednice řezných sil F_v , a destrukcí VBD SPKR 1504EDSR.



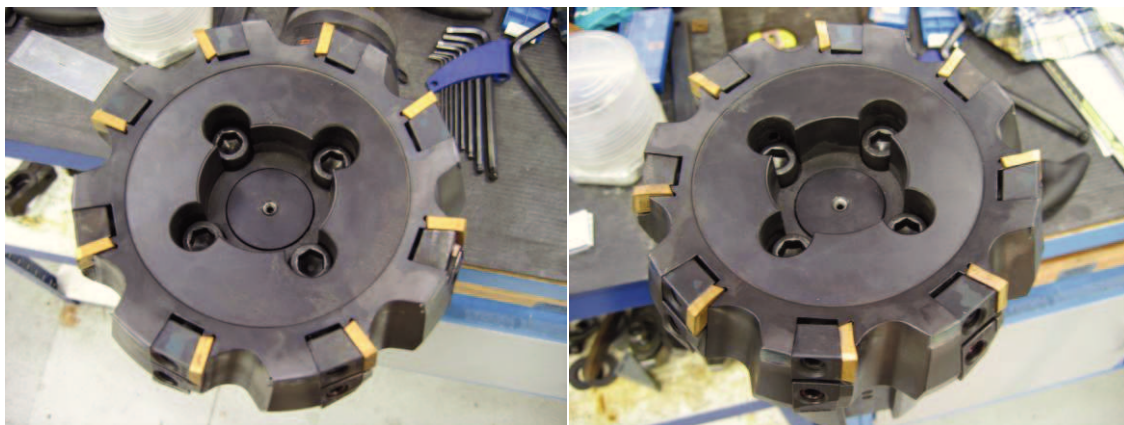
Graf 6.14 Složka řezné síly F_t při $a_p = 10$ mm (1 VBD ve fríze)

6.3.1.2.2 Měření řezných sil s frézou plně osazenou VBD

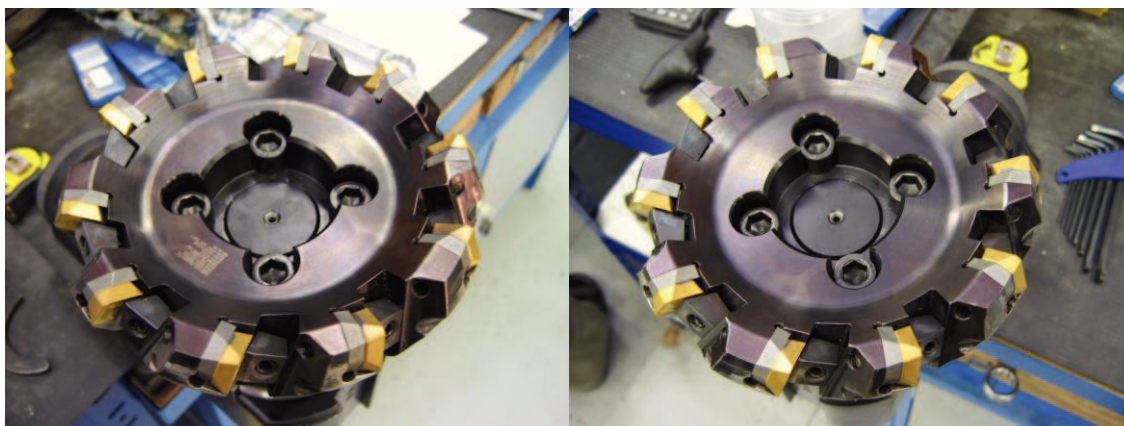
Měření řezných sil plně osazenou frézou bylo provedeno na oceli jakosti 12 050.1 s následujícími typy fréz:

- 160C08R-W75SP15D s VBD typu SPKN 1504EDSR; 8230 (obr. 6.38),
- 160C08R-W75SP15D s VBD typu SPKR 1504EDSR; 8230 (obr. 6.38),
- 160C10R-F60SN17X-1 s VBD typu SNMR 1706DZSR-M; 8230 (obr. 6.39),
- 160C10R-F60SN17X-2 s VBD typu SNMR 1706DZSR-R; 8230 (obr. 6.39).

Řezné podmínky pro měření sil pro výše uvedené typy fréz jsou uvedeny v tabulce 6.40.



Obr. 6.38 fréza 160C08R-W75SP15D
(vlevo - osazená VBD typu SPKN 1504EDSR; 8230;
vpravo - osazená VBD typu SPKR 1504EDSR; 8230)



Obr. 6.39 frézy řady F60SN17X
(vlevo - 160C10R-F60SN17X-1 osazená VBD typu SNMR 1706DZSR-M; 8230
vpravo - fréza 160C10R-F60SN17X-2 osazená VBD typu SNMR 1706DZSR-R; 8230)

6.3.1.2.2.1 Axiální hloubka řezu $a_p = 5$ mm

Při axiální hloubce řezu $a_p = 5$ mm, byla i zde každá fréza nasazena do obrobku v jednom záběru a pouze při posuvu na zub $f_z = 0,40$ mm s řeznými podmínkami uvedenými v tabulce 6.40. Posuv na zub f_z byl zvolen s ohledem na velikost obrobku, který je přizpůsoben velikosti dynamometru, a dále s ohledem na bezpečnost práce. Hodnota posuvu na zub $f_z = 0,40$ mm byla rovněž zvolena s ohledem na testované typy VBD, geometrie a jejich doporučené rozsahy posuvů na zub f_z .

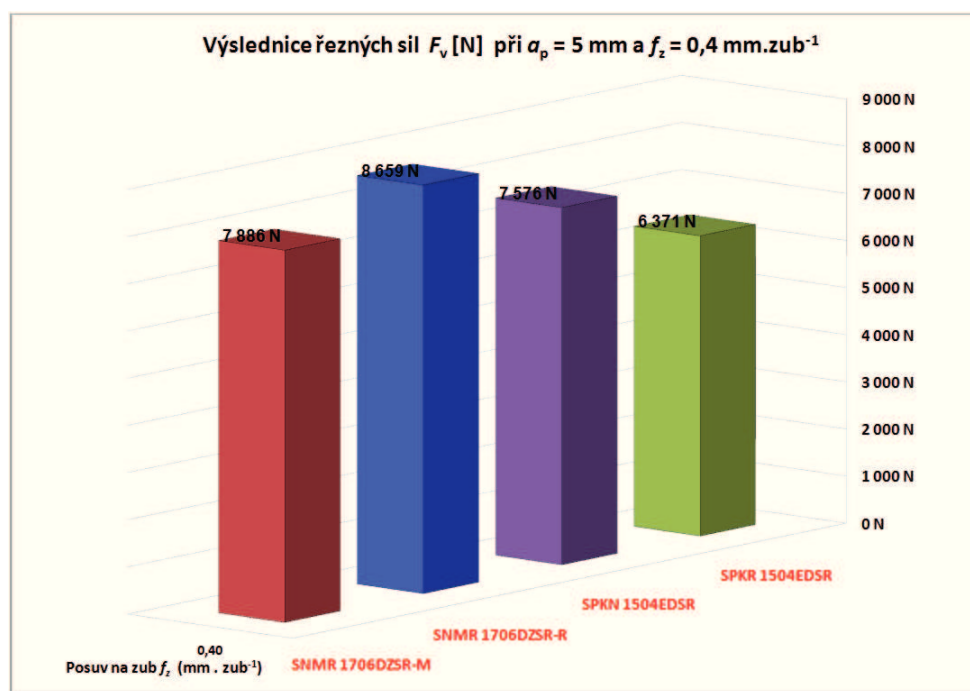
Výsledky měření řezných sil s frézami *plně osazenými VBD při axiální hloubce řezu $a_p = 5$ mm*, můžeme shrnout do následujících bodů:

- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění podle tabulky 6.40, při axiální hloubce řezu $a_p = 5$ mm, byly získány hodnoty řezných sil uvedených v tabulce 6.45 při konstantním posuvu na zub $f_z = 0,40$ mm,

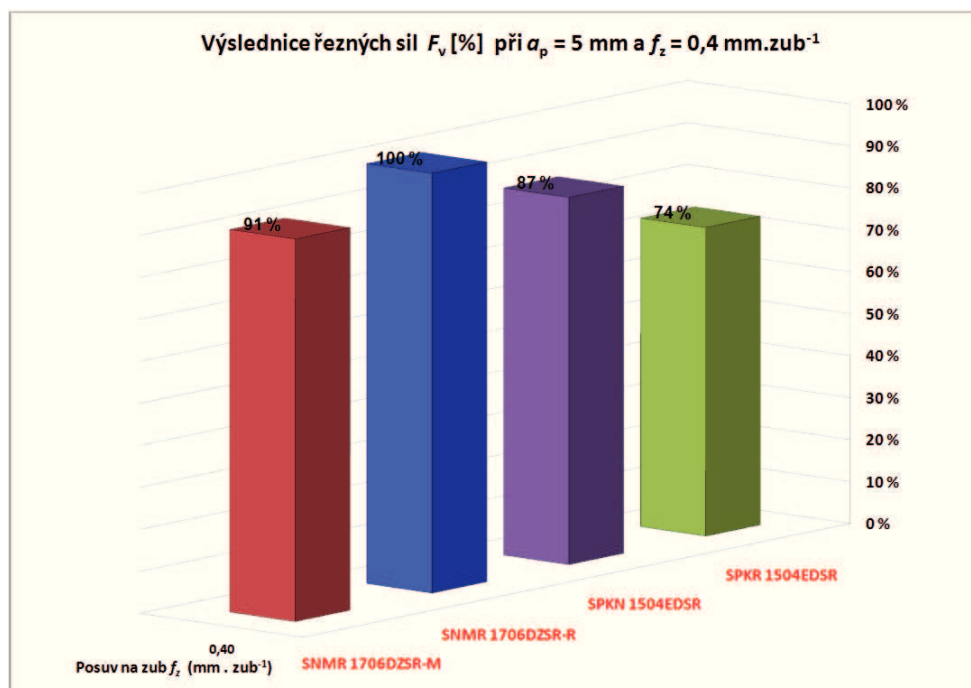
- b) z důvodu vysokých silových poměrů při frézování a při skutečnosti, že VBD typu SPKR 1504EDSR nejsou použitelné pro hodnotu posuvu na zub $f_z = 0,60$ mm, nebyly z důvodu bezpečnosti práce řezné zkoušky s plným osazením a u všech typů fréz při tomto posuvu realizovány,
- c) ze získaných složek řezných sil F_x , F_y a F_z byla podle vztahu 6.1, vypočtena výslednice řezných sil F_v (tab. 6.45),
- d) grafické znázornění naměřených hodnot výsledné složky řezné síly F_v dle tabulky 6.45 je uvedeno v grafu 6.15 a grafu 6.16,
- e) nejvyšších hodnot výsledné řezné síly F_v vykazují VBD typu SNMR 1706DZSR-R, nejnižších hodnot VBD typu SPKR 1504EDSR, které jsou dány jejich geometrií a provedením,
- f) hodnoty řezných sil uvedených v tabulce 6.45 (graf 6.15 a graf 6.16) jsou zkráceny o rozdíl mezi jednotlivými počty zubů u testovaných fréz,

Tab. 6.45 Hodnoty řezných sil s frézami plně osazenými VBD při $a_p = 5$ mm, $f_z = 0,40$ mm

Označení frézy (ISO)	Označení VBD (ISO)	Posuv na zub f_z (mm)	Počet zubů z (-)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	F_v (N)
160C10R-F60SN17X-1;-2	SNMR 1706DZSR-M	0,4	10	7271	3002	557	7886
	SNMR 1706DZSR-R	0,4	10	7772	3694	962	8659
160C08R-W75SP15D	SPKN 1504EDSR	0,4	8	6728	3223	1320	7576
	SPKR 1504EDSR	0,4	8	6029	1976	578	6371



Graf 6.15 Výslednice řezných sil F_v [N] při $a_p = 5$ mm; $f_z = \text{konst.}$ (plně osazená fréza)

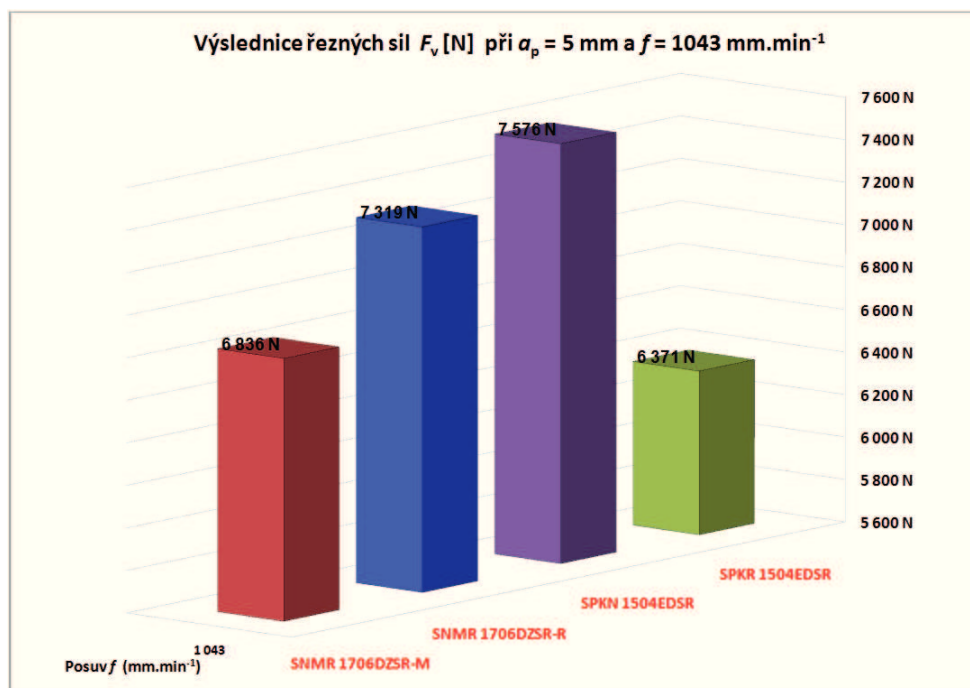


Graf 6.16 Výslednice řezných sil F_v [%] při $a_p = 5$ mm; $f_z = \text{konst.}$ (plně osazená fréza)

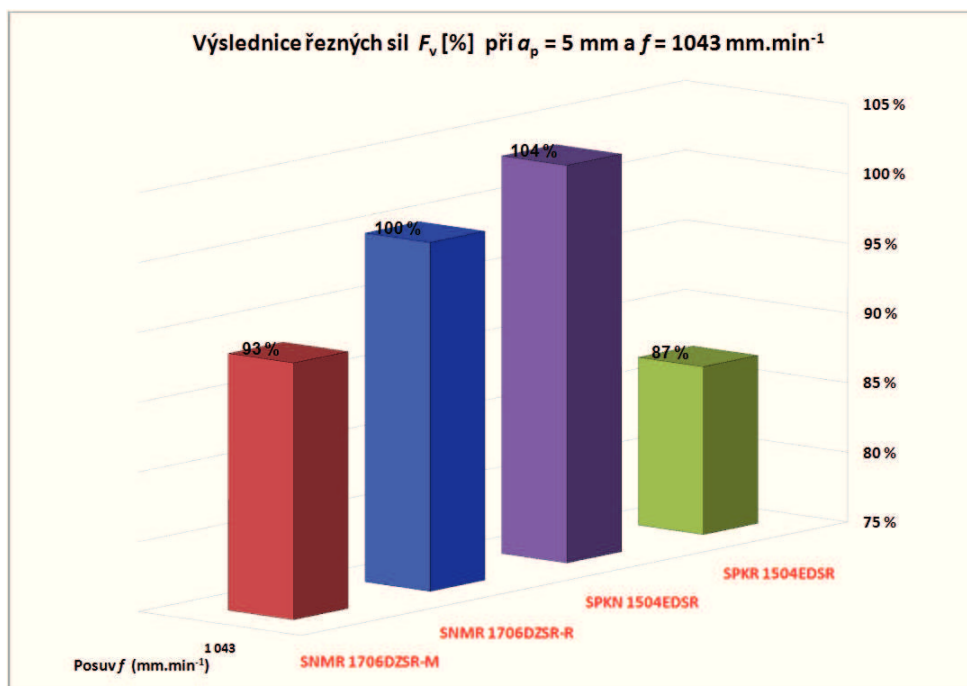
- frézy typu 160C10R-F60SN17X-1;-2 byly osazeny 10 ks VBD, frézy typu 160C08R-W75SP15D byly osazeny pouze 8 ks VBD; rozdílnost osazení je dána jejich konstrukcí,
- měření řezných sil při konstantním posuvu $f_z = 0,40$ mm je tedy „zkresleno“ o rozdíl 2 ks VBD s ohledem na daný průměr frézy $D = 160$ mm; pro eliminaci tohoto rozdílu byly provedeny následné řezné zkoušky – měření řezných sil, tentokrát s konstantní hodnotou minutového posuvu f ,
- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.40), při axiální hloubce řezu $a_p = 5$ mm a při minutovém posuvu $f = 1043$ mm . min⁻¹ (konst.), byly získány hodnoty řezných sil uvedených v tabulce 6.46,
- ze získaných složek řezných sil F_x , F_y a F_z byla podle vztahu 6.1, vypočtena výslednice řezných sil F_v (tab. 6.46),
- grafické znázornění výsledné složky řezné síly F_v dle tabulky 6.46 je uvedeno v grafu 6.17 a grafu 6.18,
- nejvyšších hodnot výsledné řezné síly F_v vykazují VBD typu SPKN 1504EDSR, nejnižších hodnot VBD typu SPKR 1504EDSR, které jsou dány jejich geometrií a provedením.

Tab. 6.46 Hodnoty řezných sil s frézami plně osazenými VBD při $a_p = 5$ mm, $f = 1043$ mm . min⁻¹

Označení frézy (ISO)	Označení VBD (ISO)	Posuv f (mm)	Počet zubů z (-)	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	F_v (N)
160C10R- F60SN17X-1;-2	SNMR 1706DZSR-M	1043	10	6172	2841	750	6836
	SNMR 1706DZSR-R	1043	10	6418	3363	1034	7319
160C08R- W75SP15D	SPKN 1504EDSR	1043	8	6728	3223	1320	7576
	SPKR 1504EDSR	1043	8	6029	1976	578	6371



Graf 6.17 Výslednice řezných sil F_v [N] při $a_p = 5$ mm; $f = \text{konst.}$ (plně osazená fréza)



Graf 6.18 Výsledná síla F_v [%] při $a_p = 5$ mm; $f = \text{konst.}$ (plně osazená fréza)

6.3.1.2.2.2 Axiální hloubka řezu $a_p = 10$ mm

Axiální hloubka řezu $a_p = 10$ mm při plném osazení VBD u testovaných fréz nebyla testována s ohledem na typ a velikost dynamometru, tuhost upnutí obrobku a s ohledem na bezpečnost práce na zkušebně.

6.3.1.3 Požadovaný příkon stroje P (frézou osazenou jednou VBD)

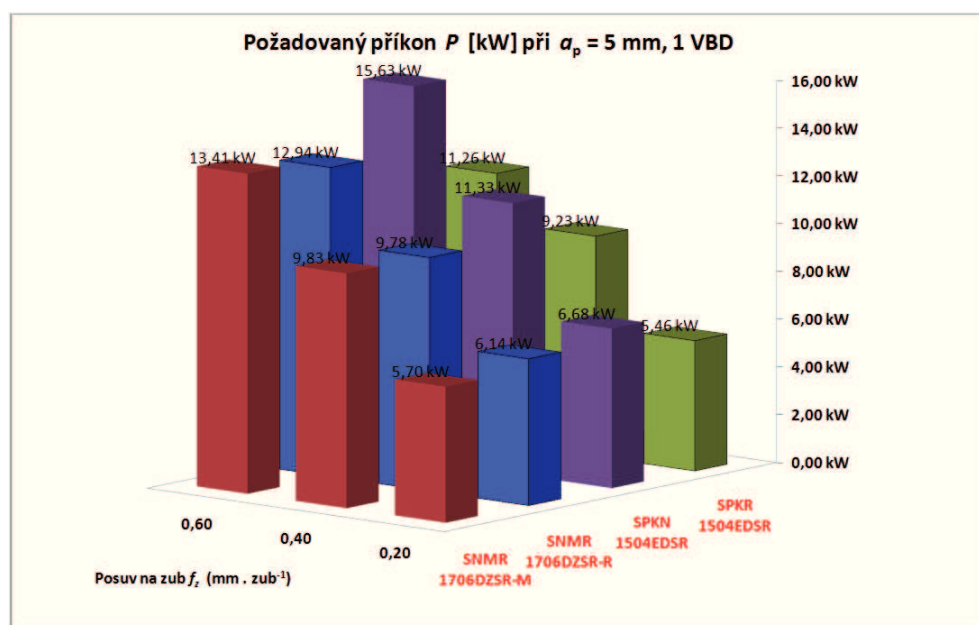
6.3.1.3.1 Axiální hloubka řezu $a_p = 5$ mm

Pro axiální hloubku řezu $a_p = 5$ mm, byly podle rovnice 5.1 a rovnice 5.2, kapitoly 5.3.1.3 vypočítány hodnoty krouticího momentu M_k a příkonu stroje P . Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.47.

Tab. 6.47 Hodnoty F_t , M_k , P s frézami osazenými 1 VBD při $a_p = 5$ mm

Označení frézy (ISO)	Označení VBD (ISO)	Posuv na zub f_z (mm)	Počet zubů z (-)	Tan. složka síly F_t (N)	Krouticí moment M_k (Nm)	Příkon stroje P (kW)
160C10R-F60SN17X	SNMR 1706DZSR-M	0,2	1	2010	167	5,70
		0,4	1	3470	288	9,83
		0,6	1	4732	392	13,41
	SNMR 1706DZSR-R	0,2	1	2167	180	6,14
		0,4	1	3450	286	9,78
		0,6	1	4568	379	12,94
160C08R-W75SP15D	SPKN 1504EDSR	0,2	1	2357	196	6,68
		0,4	1	3999	332	11,33
		0,6	1	5515	458	15,63
	SPKR 1504EDSR	0,2	1	1926	160	5,46
		0,4	1	3258	270	9,23
		0,6	1	3973	330	11,26

Nejvyšší krouticí moment M_k a potřebný příkon P (tab. 6.47) je u VBD typu SPKN 1504EDSR, nejmenší hodnoty jsou u VBD SPKR 1504EDSR. Grafické znázornění požadovaných příkonů je uvedeno v grafu 6.19.



Graf 6.19 Požadovaný příkon stroje P při $a_p = 5$ mm, 1VBD ve fríze - ocel 12 050.1

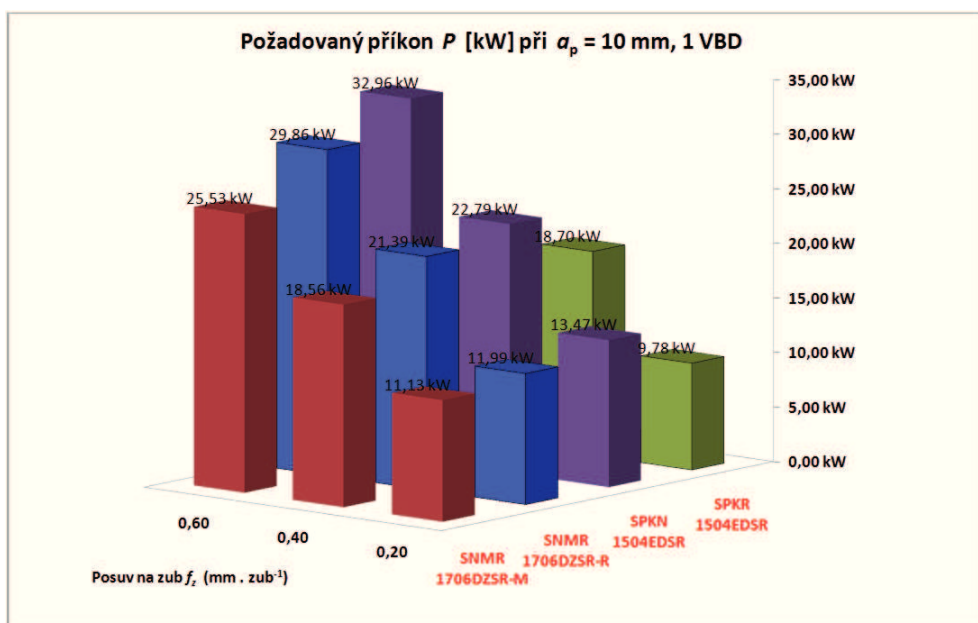
6.3.1.3.2 Axiální hloubka řezu $a_p = 10$ mm

Pro axiální hloubku řezu $a_p = 10$ mm, byly podle rovnice 5.1 a rovnice 5.2 vypočítány hodnoty krouticího momentu M_k a příkonu stroje P . Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.48.

Tab. 6.48 Hodnoty F_t , M_k , P s frézami osazenými 1 VBD při $a_p = 10$ mm

Označení frézy (ISO)	Označení VBD (ISO)	Posuv na zub f_z (mm)	Počet zubů z (-)	Tan. složka síly F_t (N)	Krouticí moment M_k (Nm)	Příkon stroje P (kW)
160C10R-F60SN17X	SNMR 1706DZSR-M	0,2	1	3929	326	11,13
		0,4	1	6549	543	18,56
		0,6	1	9009	747	25,53
	SNMR 1706DZSR-R	0,2	1	4233	351	11,99
		0,4	1	7550	626	21,39
		0,6	1	10539	874	29,86
160C08R-W75SP15D	SPKN 1504EDSR	0,2	1	4755	395	13,47
		0,4	1	8043	668	22,79
		0,6	1	11632	965	32,96
	SPKR 1504EDSR	0,2	1	3453	287	9,78
		0,4	1	6600	548	18,70
		0,6	1	-	-	-

Nejvyšší krouticí moment M_k a potřebný příkon P (tab. 6.48) vyvolávají VBD typu SPKN 1504EDSR, nejmenších hodnot dosahují VBD SPKR 1504EDSR. Grafické znázornění požadovaných příkonů je uvedeno v grafu 6.20.



Graf 6.20 Požadovaný příkon stroje P při $a_p = 10$ mm, 1 VBD ve fríze - ocel 12 050.1

6.3.1.4 Odebraný objem materiálu Q

6.3.1.4.1 Odebraný objem materiálu Q na oceli 12 050 (C45)

Pro výpočet odebraného objemu materiálu Q podle rovnice 5.3 byly použity řezné podmínky ze zkoušek obrábění na trvanlivost na oceli 12 050.9 (tab. 6.27, kapitola 6.3.1.1.1). Vypočítané hodnoty odebraného objemu materiálu Q a Q_c jsou uvedeny v tabulce 6.49.

Tab. 6.49 Hodnoty odebraného objemu materiálu Q - ocel 12 050.9

Označení VBD (ISO)	Označení vzorku (-)	Trvanlivost T (min)	Odebraný objem Q (cm ³ · min ⁻¹)	Celkový objem Q_c (cm ³)
SNMR 1706DZSR-M; 8230	A2	53,2	40,2	2138,64
	A3	51,3	40,2	2062,26
SNMR 1706DZSR-R; 8230	B1	57,7	40,2	2319,54
	B2	63,8	40,2	2564,76
SPKN 1504EDSR; 8230	C2	51,0	40,2	2050,20
	C4	42,0	40,2	1688,40
SPKR 1504EDSR; 8230	D2	52,3	40,2	2102,46
	D4	62,8	40,2	2524,56

Výpočet odebraného objemu materiálu je rovněž možno stanovit z parametrů funkčních zkoušek obrábění. Takto vypočítané hodnoty představují objem odebraného materiálu pouze v teoretické rovině, neboť skutečný objem odebraného materiálu se odvíjí od dosažené trvanlivosti jedné řezné hrany.

Hodnoty odebraného objemu materiálu Q vypočítaných z řezných podmínek z funkčních zkoušek obrábění (tab. 6.12, kapitola 6.2.1.1.1) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-M jsou uvedeny v tabulce 6.50.

Tab. 6.50 Vypočítané objemy odebraného materiálu Q - SNMR 1706DZSR-M

Axiální hloubka řezu a_p (mm)	Posuv na zub f_z (mm)							
	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
	Posuv f (mm · min ⁻¹)							
	299	398	498	597	697	796	896	995
1	30	40	50	60	70	80	90	100
2	60	80	100	120	140	160	180	199
5	150	199	249	299	349	398	448	498
7	210	279	349	418	488	558	628	697
10	299	398	498	597	697	796	896	995

Hodnoty odebraného objemu materiálu Q vypočítaných z řezných podmínek z funkčních zkoušek obrábění (tab. 6.13, kapitola 6.2.1.1.1) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-R jsou uvedeny v tabulce 6.51. Při uvažovaných stejných řezných podmínkách pro VBD typu SNMR 17, lze provést výpočet odebraného objemu materiálu Q , rovněž pro stávající VBD typu SPKN 1506EDSR a SPKR 1504EDSR.

Tab. 6.51 Vypočítané objemy odebraného materiálu Q - SNMR 1706DZSR-R

Axiální hloubka řezu a_p (mm)	Posuv na zub f_z (mm)								
	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
	Posuv f (mm . min ⁻¹)								
	498	597	697	796	896	995	1095	1194	1294
1	50	60	70	80	90	100	110	120	130
2	100	120	140	160	180	199	219	239	259
5	249	299	349	398	448	498	548	597	647
7	349	418	488	558	628	697	767	836	906
10	498	597	697	796	896	995	1095	1194	1294

Vycházíme-li ze stejných záběrových podmínek, tzn. axiální a radiální hloubky řezu a_p , a_e vůči průměru frézy D , a dále z řezné rychlosti v_c (otáček vřetene n) a posuvů na zub f_z (minutové posuvy f se v tomto případě liší z důvodu nižšího počtu zubů, na průměru frézy $D = 160$ mm). Hodnoty odebraného objemu materiálu Q vypočítaných analogicky z řezných podmínek z funkčních zkoušek obrábění pro VBD typu SNMR 1706DZSR-R, jsou pro VBD typu SPKN 1504EDSR uvedeny v tabulce 6.52. Hodnoty odebraného objemu materiálu Q pro VBD typu SPKR 1504EDSR uvedeny v tabulce 6.53. Maximální hranice posuvu na zub f_z byla zvolena z doporučeného rozsahu posuvu na zub f_z z katalogu Frézování Pramet.

Tab. 6.52 Vypočítané objemy odebraného materiálu Q - SPKN 1504EDSR

Axiální hloubka řezu a_p (mm)	Posuv na zub f_z (mm)								
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
	Posuv f (mm . min ⁻¹)								
	319	398	478	558	637	717	796	876	956
1	32	40	48	56	64	72	80	88	96
2	64	80	96	112	128	144	160	176	192
5	160	199	239	279	319	359	398	438	478
7	224	279	335	391	446	502	558	614	670
10	319	398	478	558	637	717	796	876	956

Tab. 6.53 Vypočítané objemy odebraného materiálu Q - SPKR 1504EDSR

Axiální hloubka řezu a_p (mm)	Posuv na zub f_z (mm)					
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
	Posuv f (mm . min ⁻¹)					
	319	398	478	558	637	717
1	32	40	48	56	64	72
2	64	80	96	112	128	144
5	160	199	239	279	319	359
7	224	279	335	391	446	502
10	319	398	478	558	637	717

Výsledky výpočtů odebraných objemů materiálů Q , můžeme shrnout do následujících bodů:

- ze souboru řezných zkoušek obrábění trvanlivosti na oceli 12 050.9 s řeznými podmínkami obrábění dle tabulky 6.12, byly získány hodnoty odebraného objemu materiálu Q a Q_c uvedených v tabulce 6.49,
- nejvyšších hodnot celkového odebraného objemu materiálu dosáhly VBD typu SNMR 1706DZSR-R a SPKR 1505EDSR, nejnižších hodnota dosáhly destičky typu SNMR 1706DZSR-M,
- vypočítané objemy pro jednotlivé typy testovaných destiček jsou uvedeny v tabulkách 6.50, 6.51, 6.52 a 6.53.

6.3.1.4.2 Odebraný objem materiálu Q na korozivzdorné oceli 17 349 (X2 CrNiMo 17-12-2)

Pro výpočet odebraného objemu materiálu Q na korozivzdorné oceli podle rovnice 5.3 byly použity řezné podmínky ze zkoušek obrábění trvanlivosti na korozivzdorné oceli 17 349.4 (tab. 6.34, kapitola 6.3.1.1.2). Vypočítané hodnoty odebraného objemu materiálu Q a Q_c jsou uvedeny v tabulce 6.54.

Tab. 6.54 Hodnoty odebraného objemu materiálu Q – korozivzdorná ocel 17 349.4

Označení VBD (ISO)	Označení vzorku (-)	Trvanlivost T (min)	Odebraný objem Q (cm ³ · min ⁻¹)	Celkový objem Q_c (cm ³)
SNMR 1706DZSR-M; 8230	A2	9,2	16,5	151,8
	A3	9,2	16,5	151,8
SNMR 1706DZSR-R; 8230	B3	13,8	16,5	227,7
	B4	9,2	16,5	151,8
SPKN 1504EDSR; 8230	C2	9,2	16,5	151,8
	C4	9,2	16,5	151,8
SPKR 1504EDSR; 8230	D1	13,8	16,5	227,7
	D2	15,5	16,5	255,8

Výpočet odebraného objemu materiálu je rovněž i zde možno stanovit z parametrů funkčních zkoušek obrábění na korozivzdorné oceli 17 349.4. Takto vypočítané hodnoty představují objem odebraného materiálu pouze v teoretické rovině, neboť skutečný objem odebraného materiálu se odvíjí od dosažené trvanlivosti T jedné řezné hrany.

Hodnoty odebraného objemu materiálu Q vypočítaných z řezných podmínek z funkčních zkoušek obrábění (tab. 6.16, kapitola 6.2.1.2.1) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-M jsou uvedeny v tabulce 6.55. Hodnoty odebraného objemu materiálu Q vypočítaných z řezných podmínek z funkčních zkoušek obrábění (tab. 6.17, kapitola 6.2.1.2.1) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-R jsou uvedeny v tabulce 6.56.

I zde lze provést výpočet odebraného objemu materiálu Q , rovněž pro stávající VBD typu SPKN 1506EDSR a SPKR 1504EDSR. Vycházíme-li opět ze stejných záběrových podmínek, tzn. axiální a radiální hloubky řezu a_p , a_e vůči průměru frézy D , a dále z řezné rychlosti v_c (otáček vřetene n) a posuvů na zub f_z (minutové posuvy f se v tomto případě liší z důvodu nižšího počtu zubů, na průměru frézy $D = 160$ mm).

Tab. 6.55 Vypočítané objemy odebraného materiálu Q - SNMR 1706DZSR-M

Axiální hloubka řezu a_p (mm)	Posuv na zub f_z (mm)							
	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
	Posuv f (mm . min ⁻¹)							
	194	258	323	387	452	516	581	645
1	18	24	30	35	41	47	53	59
2	35	47	59	70	82	93	105	117
5	88	117	146	175	204	233	262	291
7	123	163	204	244	285	326	367	407
10	175	233	291	349	407	465	523	581

Tab. 6.56 Vypočítané objemy odebraného materiálu Q - SNMR 1706DZSR-R

Axiální hloubka řezu a_p (mm)	Posuv na zub f_z (mm)							
	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
	Posuv f (mm . min ⁻¹)							
	323	387	452	516	581	645	710	774
1	30	35	41	47	53	59	64	70
2	59	70	82	93	105	117	128	140
5	146	175	204	233	262	291	320	349
7	204	244	285	326	367	407	448	488
10	291	349	407	465	523	581	639	697

Hodnoty odebraného objemu materiálu Q vypočítaných analogicky z řezných podmínek z funkčních zkoušek obrábění pro VBD typu SNMR 1706DZSR-R (tab. 6.17, kapitola 6.2.1.2.1), jsou pro VBD typu SPKN 1504EDSR uvedeny v tabulce 6.57.

Tab. 6.57 Vypočítané objemy odebraného materiálu Q - SPKN 1504EDSR

Axiální hloubka řezu a_p (mm)	Posuv na zub f_z (mm)							
	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
	Posuv f (mm . min ⁻¹)							
	258	310	362	413	465	516	568	620
1	24	28	33	38	42	47	52	56
2	47	56	66	75	84	93	103	112
5	117	140	163	186	210	233	256	279
7	163	196	229	261	293	326	358	391
10	233	279	326	372	419	465	512	558

Hodnoty odebraného objemu materiálu Q pro VBD typu SPKR 1504EDSR uvedeny v tabulce 6.58. Maximální hranice posuvu na zub f_z byla zvolena z doporučeného rozsahu posuvů na zub f_z z katalogu Frézování Pramet.

Tab. 6.58 Vypočítané objemy odebraného materiálu Q - SPKR 1504EDSR

Axiální hloubka řezu a_p (mm)	Posuv na zub f_z (mm)					
	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
	Posuv f (mm . min ⁻¹)					
	207	258	310	362	413	465
1	19	24	28	33	38	42
2	38	47	56	66	75	84
5	94	117	140	163	186	210
7	131	163	196	229	261	293
10	187	233	279	326	372	419

Výsledky výpočtů odebraných objemů materiálu Q , můžeme shrnout do následujících bodů:

- ze souboru řezných zkoušek obrábění trvanlivosti na korozivzdorné oceli 17 349.4 s řeznými podmínkami obrábění dle tabulky 6.34, byly získány hodnoty odebraného objemu materiálu Q a Q_c uvedených v tabulce 6.54,
- nejvyšších hodnot celkového odebraného objemu materiálu dosáhly VBD typu SPKR 1504EDSR a SNMR 1706DZSR-R, stejných hodnot dosáhly destičky SNMR 1706DZSR-M a SPKN 1504EDSR,
- vypočítané objemy pro jednotlivé typy testovaných destiček jsou uvedeny v tabulkách 6.55, 6.56, 6.57 a 6.58.

6.3.1.5 Drsnost obrobené plochy

6.3.1.5.1 Drsnost obrobené plochy se standardními VBD na oceli 12 050 (C45)

Drsnost obrobené plochy (kapitola 5.3.1.5) byla měřena na povrchu obrobku jakosti 12 050.1 (rozměry obrobků dle kapitoly 6.2.1.1), obrobeném prototypovými frézami typu 160C10R-F60SN17X-1, -2 plně osazenými standardními destičkami typu SNMR 1706DZSR-M a SNMR 1706DZSR-R s řeznými podmínkami uvedenými v tabulce 6.12 a 6.13, kapitola 6.2.1.1.1.

Po každém průjezdu nástroje obrobkem, byla změřena drsnost obrobené plochy mobilním drsnoměrem HOMMEL TESTER T500 (obr. 5.20, kapitola 5.3.1.5), uprostřed obrobku, a to ve směru trajektorie posuvu f , vyjma následujících parametrů řezných podmínek z důvodu bezpečnosti práce a případného možného poškození stroje (frézky FCV 63):

- při posuvu na zub $f_z = 0,45$ mm, při axiální hloubce řezu $a_p = 10$ mm, s VBD typu SNMR 1706DZSR-M,
- při posuvu na zub $f_z = 0,50$ mm, při axiální hloubce řezu $a_p = 10$ mm, s VBD typu SNMR 1706DZSR-R.

Naměřené hodnoty drsností povrchů R_a s VBD typu SNMR 1706DZSR-M jsou uvedeny v tabulce 6.59, naměřené hodnoty drsností povrchů R_a s VBD typu SNMR 1706DZSR-R jsou uvedeny v tabulce 6.60. Grafické znázornění hodnot drsností povrchů R_a s VBD typu SNMR 1706DZSR-M je uvedeno v grafu 6.21, grafické znázornění hodnot drsností povrchů R_a s VBD typu SNMR 1706DZSR-R je uvedeno v grafu 6.22.

Tab. 6.59 Hodnoty drsnosti povrchu R_a se SNMR 1706DZSR-M - ocel 12 050.1

Axiální hloubka řezu a_p (mm)	Drsnost povrchu R_a (μm)							
1	1,12	1,10	1,98	1,40	2,40	2,20	2,10	1,90
2	2,30	2,40	2,80	1,74	1,20	1,80	1,72	1,30
5	0,86	0,98	1,18	1,00	1,14	1,04	1,20	1,50
7	1,42	1,04	1,02	1,50	1,52	1,60	1,60	2,10
10	1,00	1,26	1,90	2,20	1,40	1,80	-	-
Posuv na zub f_z (mm)	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50

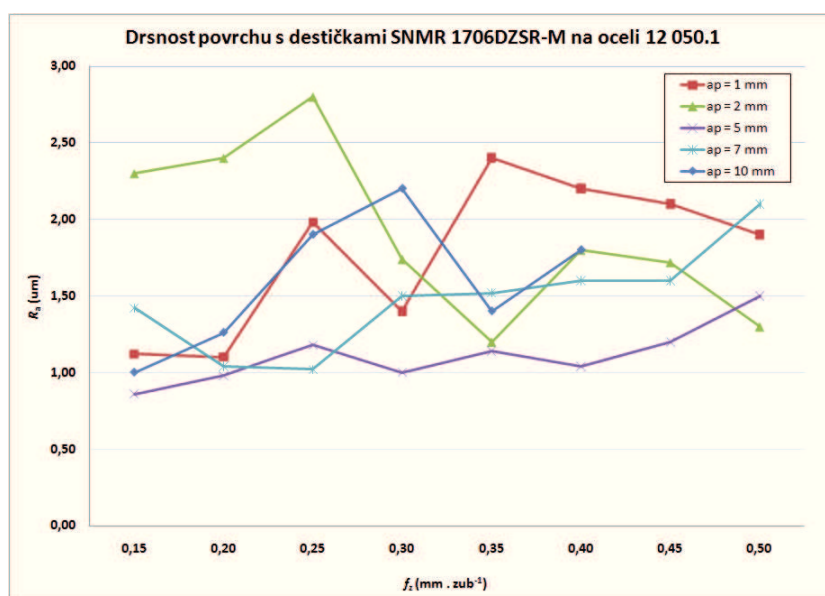
Tab. 6.60 Hodnoty drsnosti povrchu R_a se SNMR 1706DZSR-R - ocel 12 050.1

Axiální hloubka řezu a_p (mm)	Drsnost povrchu R_a (μm)								
1	2,80	2,20	1,94	1,80	1,12	2,00	2,20	1,86	1,46
2	2,18	1,90	1,52	1,88	1,44	1,92	1,58	1,06	1,64
5	1,34	1,64	1,04	1,04	1,08	1,08	1,12	1,44	1,40
7	1,70	1,52	0,88	1,24	0,92	0,86	1,40	1,20	2,10
10	2,00	1,50	2,00	2,20	1,70	1,40	1,10	-	-
Posuv na zub f_z (mm)	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65

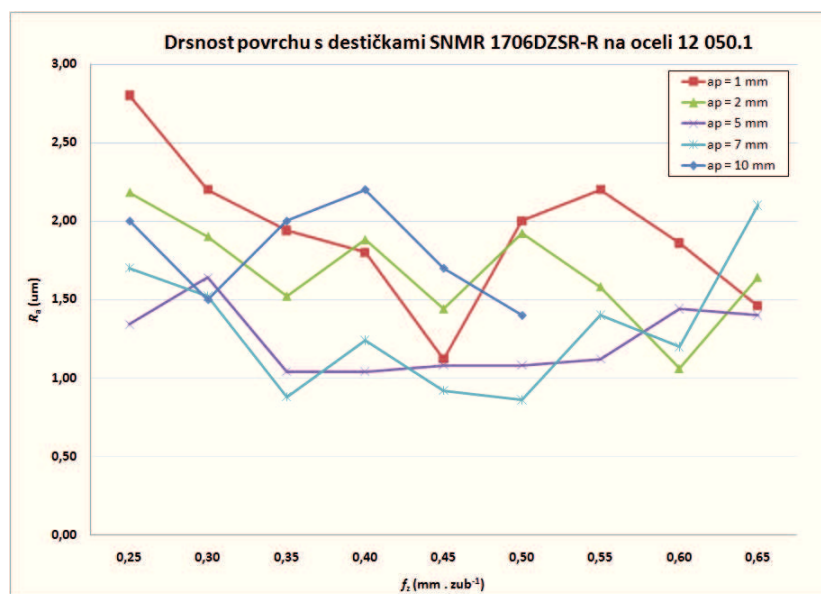
Měření drsnosti obrobeného povrchu na oceli 12 050.1 můžeme shrnout do následujících bodů:

- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.12, kapitola 6.2.1.1.1) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-M, byly získány hodnoty drsností (tab. 6.59) obrobeného povrchu nepřekračující hodnotu R_a 2,80,
- minimální dosažená hodnota drsnosti povrchu R_a 0,86 s VBD typu SNMR 1706DZSR-M byla dosažena při $f_z = 0,15$ mm, $a_p = 5$ mm,
- můžeme konstatovat, že dosažené výsledky naměřených hodnot drsností R_a s geometrií -M, jsou velmi dobré, s ohledem na konstrukční a funkční řešení celého nástroje (frézy), který je určen pro hrubovací operace frézování; geometrie -M je svým rozsahem konstrukčně zacílena na nižší rozsah posuvů na zub $f_z = 0,20$ až 0,40 mm, avšak při uvažované střední hloubce řezu $a_p = 5$ mm u ní nedošlo k překročení hodnot drsností povrchu nad R_a 1,60 při všech testovaných posuvech na zub f_z (tab. 6.59),
- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.13, kapitola 6.2.1.1.1) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-R, byly získány hodnoty drsností (tab. 6.60) obrobeného povrchu nepřekračující hodnotu R_a 2,80,
- minimální dosažená hodnota drsnosti povrchu R_a 0,86 s VBD typu SNMR 1706DZSR-R byla dosažena při $f_z = 0,50$ mm, $a_p = 7$ mm,

- f) můžeme konstatovat, že dosažené výsledky naměřených hodnot drsností R_a s geometrií -R, jsou rovněž velmi dobré, s ohledem jak na konstrukční a funkční řešení celého nástroje (frézy), tak geometrii -R, která je svým rozsahem konstrukčně zacílena na vyšší rozsah posuvů na zub $f_z = 0,30$ až $0,55$ mm,
- g) geometrie -R je schopna zaručit hodnoty drsností povrchu pod $R_a 3,20$ i pro případy hodnot posuvů na zub f_z nad doporučené maximum, kterým je $f_{z \max} = 0,55$ mm,
- h) geometrie -M je schopna zaručit hodnoty drsností povrchu rovněž pod $R_a 3,20$ i pro případy hodnot posuvů na zub f_z nad doporučené maximum, kterým je $f_{z \max} = 0,40$ mm,
- i) obecně obě geometrie -M a -R mají velký potenciál z hlediska dosažení požadavků na drsnost povrchu obrobku R_a na oceli, který je dán jejich konstrukcí, tvarem a velikostí hladicího segmentu ostří (vedlejšího břitu).



Graf 6.21 Drsnost povrchu R_a s destičkami SNMR 1706DZSR-M - ocel 12 050.1



Graf 6.22 Drsnost povrchu R_a s destičkami SNMR 1706DZSR-R - ocel 12 050.1

6.3.1.5.2 Drsnost obrobené plochy se standardními VBD na korozivzdorné oceli 17 349 (X2 CrNiMo 17-12-2)

Drsnost obrobené plochy (kapitola 5.3.1.5) byla měřena na povrchu obrobku jakosti 17 349.4 (rozměry obrobků dle kapitoly 6.2.1.2), obrobeném prototypovými frézami typu 160C10R-F60SN17X-1, -2 plně osazenými standardními destičkami typu SNMR 1706DZSR-M a SNMR 1706DZSR-R s řeznými podmínkami uvedenými v tabulce 6.17 a 6.18, kapitola 6.2.1.2.1.) Po každém průjezdu nástroje obrobkem, byla změřena drsnost obrobené plochy mobilním drsnoměrem HOMMEL TESTER T500 (obr. 5.20, kapitola 5.3.1.5), uprostřed obrobku, a to ve směru trajektorie posuvu f , vyjma následujících parametrů řezných podmínek z důvodu bezpečnosti práce a případného možného poškození stroje (frézky FCV 63):

- 1) při posuvu na zub $f_z = 0,45$ mm a $f_z = 0,50$ mm, při axiální hloubce řezu $a_p = 10$ mm, s VBD typu SNMR 1706DZSR-M,
- 2) při posuvech na zub $f_z = 0,60$ mm a $f_z = 0,65$ mm, při axiálních hloubkách řezů $a_p = 1; 2; 5; 7$ a 10 mm s VBD typu SNMR 1706DZSR-R.

Naměřené hodnoty drsností povrchů Ra s VBD typu SNMR 1706DZSR-M jsou uvedeny v tabulce 6.61, naměřené hodnoty drsností povrchů Ra s VBD typu SNMR 1706DZSR-R jsou uvedeny v tabulce 6.62. Grafické znázornění hodnot drsností povrchů Ra s VBD typu SNMR 1706DZSR-M je uvedeno v grafu 6.23, grafické znázornění hodnot drsností povrchů Ra s VBD typu SNMR 1706DZSR-R je uvedeno v grafu 6.24.

Tab. 6.61 Hodnoty drsnosti povrchu Ra se SNMR 1706DZSR-M - ocel 17 349.4

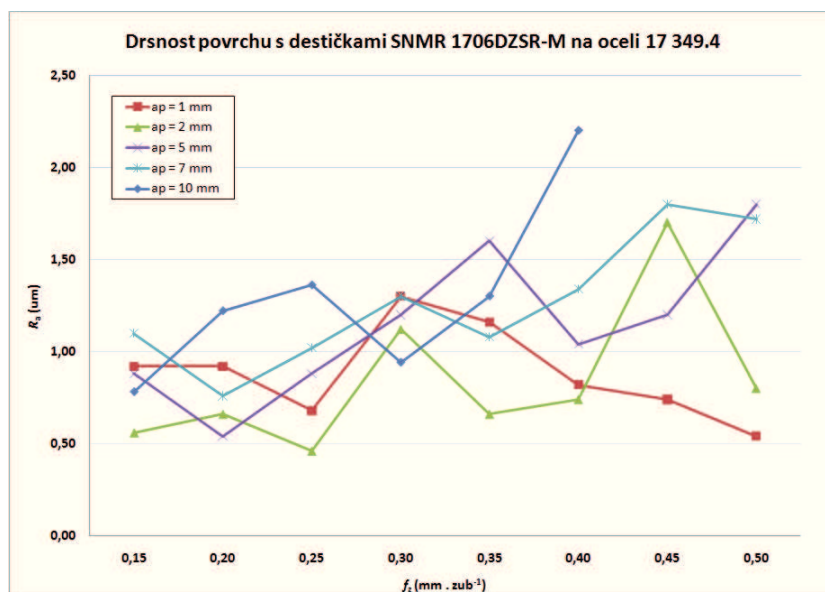
Axiální hloubka řezu a_p (mm)	Drsnost povrchu Ra (μm)							
1	0,92	0,92	0,68	1,30	1,16	0,82	0,74	0,54
2	0,56	0,66	<u>0,46</u>	1,12	0,66	0,74	1,70	0,80
5	0,88	0,54	0,88	1,20	1,60	1,04	1,20	<u>1,80</u>
7	1,10	0,76	1,02	1,30	1,08	1,34	1,80	1,72
10	0,78	1,22	1,36	0,94	1,30	<u>2,20</u>	-	-
Posuv na zub f_z (mm)	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50

Tab. 6.62 Hodnoty drsnosti povrchu Ra se SNMR 1706DZSR-R - ocel 17 349.4

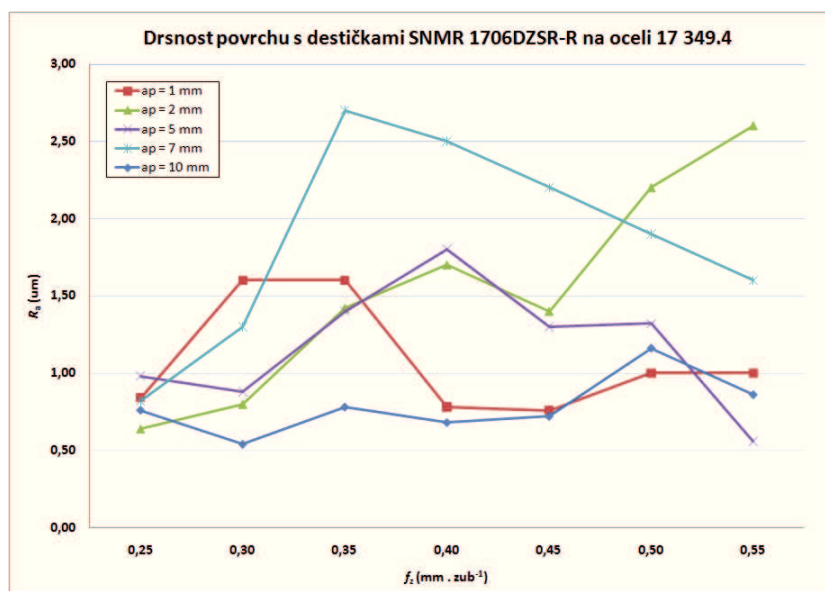
Axiální hloubka řezu a_p (mm)	Drsnost povrchu Ra (μm)						
1	0,84	1,60	1,60	0,78	0,76	1,00	1,00
2	0,64	0,80	1,42	1,70	1,40	2,20	2,60
5	0,98	0,88	1,40	1,80	1,30	1,32	0,56
7	0,82	1,30	<u>2,70</u>	2,50	2,20	1,90	1,60
10	0,76	<u>0,54</u>	0,78	0,68	0,72	1,16	0,86
Posuv na zub f_z (mm)	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55

Měření *drsnosti obrobeného povrchu na korozivzdorné oceli 17 349.4* můžeme shrnout do následujících bodů:

- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.16, kapitola 6.2.1.2.1) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-M, byly získány hodnoty drsností (tab. 6.61) obrobeného povrchu, nepřekračující hodnotu $Ra\ 2,20$,
- minimální dosažená hodnota drsnosti povrchu $Ra\ 0,46$ s VBD typu SNMR 1706DZSR-M byla dosažena při $f_z = 0,25\text{ mm}$, $a_p = 2\text{ mm}$,
- můžeme konstatovat, že dosažené výsledky naměřených hodnot drsností Ra s geometrií -M, jsou opět velmi dobré a s ohledem na konstrukční a funkční řešení celého nástroje (frézy), který je určen pro hrubovací operace frézování; geometrie -M je svým rozsahem konstrukčně zacílena na nižší rozsah posuvů na zub $f_z = 0,20$ až $0,40\text{ mm}$, avšak při uvažované střední hloubce řezu $a_p = 5\text{ mm}$ u ní nedošlo k překročení hodnot drsností povrchu nad $Ra\ 1,80$ při všech testovaných posuvech na zub f_z (tab. 6.61),
- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.17, kapitola 6.2.1.2.1) pro VBD typu SNMR 1706DZSR-R, byly získány hodnoty drsností (tab. 6.62) obrobeného povrchu nepřekračující hodnotu $Ra\ 2,70$,
- minimální dosažená hodnota drsnosti povrchu $Ra\ 0,54$ s VBD typu SNMR 1706DZSR-R byla dosažena při $f_z = 0,30\text{ mm}$, $a_p = 10\text{ mm}$,
- můžeme konstatovat, že dosažené výsledky naměřených hodnot drsností Ra s geometrií -R, jsou rovněž velmi dobré, s ohledem jak na konstrukční a funkční řešení celého nástroje (frézy), tak geometrii -R, která je svým rozsahem konstrukčně zacílena na vyšší rozsah posuvů na zub $f_z = 0,30$ až $0,55\text{ mm}$,
- geometrie -R je schopna zaručit hodnoty drsností povrchu pod $Ra\ 3,20$ a víceméně do $Ra\ 1,60$,
- geometrie -M je schopna zaručit hodnoty drsností povrchu rovněž pod $Ra\ 3,20$ a ve většině případů do $Ra\ 1,60$,
- obě geometrie -M a -R mají velký potenciál z hlediska dosažení požadavků na drsnost povrchu obrobku Ra na korozivzdorné oceli a optimální volbou řezných podmínek lze dosáhnout velmi dobrých výsledků.



Graf 6.23 Drsnost povrchu Ra s destičkami SNMR 1706DZSR-M - ocel 17 349.4



Graf 6.24 Drsnost povrchu R_a s destičkami SNMR 1706DZSR-R - ocel 17 349.4

6.3.1.5.3 Drsnost obrobené plochy s hladícími VBD na oceli 12 050 (C45)

Drsnost obrobené plochy R_a byla měřena na obrobku, oceli jakosti 12 050.1, s prototypovými frézami typu 160C10R-F60SN17X-1, 160C10R-F60SN17X-2 osazenými 10 ks VBD ve skladbě:

- 9 ks VBD typu SNMR 1706DZSR-M + 1 ks VBD typu SNKR 1706DZSR,
- 9 ks VBD typu SNMR 1706DZSR-R + 1 ks VBD typu SNKR 1706DZSR.

Pro porovnání byla drsnost povrchu rovněž odzkoušena s frézami typu 160C08R-W75SP15D osazenými 8 ks VBD ve skladbě:

- 7 ks VBD typu SPKN 1504EDSR + 1 ks VBD typu SPKX 1504EDFR,
- 7 ks VBD typu SPKR 1504EDSR + 1 ks VBD typu SPKX 1504EDFR.

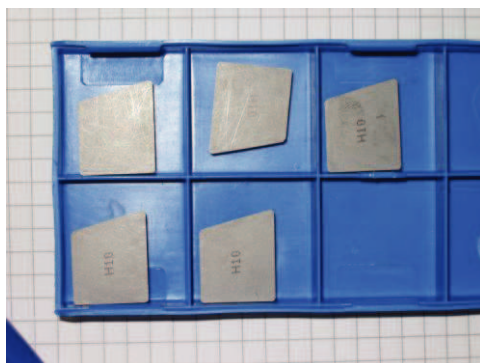
Vzorky jednotlivých typů hladících VBD a příslušných fréz jsou uvedeny na obrázku 6.40 a 6.41. Náhled na zkoušku obrábění je uveden na obrázku 6.42. Řezné podmínky pro oba typy fréz a jejich destiček, včetně rozměru obrobku jsou uvedeny v tabulce 6.63.

Po každém průjezdu nástroje obrobkem, byla změřena drsnost obrobené plochy mobilním drsnoměrem HOMMEL TESTER T500 (obr. 5.20, kapitola 5.3.1.5), vždy uprostřed obrobku, ve směru posuvu f .

Naměřené hodnoty drsností povrchů R_a pro jednotlivé případy řezných podmínek jsou uvedeny v tabulce 6.64, 6.65, 6.66 a 6.67. Grafické znázornění hodnot drsností povrchů R_a jsou uvedeny v grafech 6.25, 6.26, 6.27 a 6.28.

Tab. 6.63 Řezné podmínky pro měření drsnosti povrchů s hladicími VBD – ocel 12050.1

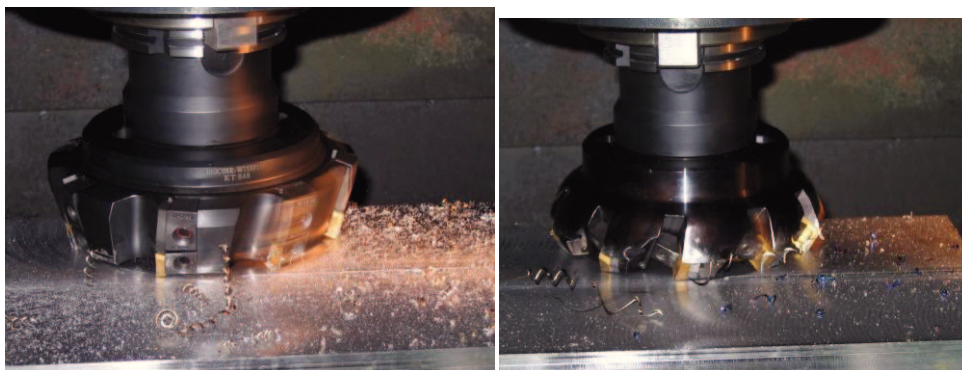
Nástroj	Výrobce	PRAMET	PRAMET
	Označení	160C10R-F60SN17X-1 160C10R-F60SN17X-2	160C08R-W75SP15D
	Standardní VBD	SNMR 1706DZSR-M SNMR 1706DZSR-R	SPKN 1504EDSR SPKR 1504EDSR
	Jakost SK standardních VBD	8230	8230
	Hladicí VBD	SNKR 1706DZSR	SPKX 1504EDFR
	Jakost SK hladicích VBD	8026T	H10
Pracovní podmínky	Průměr frézy D (mm)	160	160
	Řezná rychlost v_c (m . min ⁻¹)	100; 200	100; 200
	Posuv f (mm . min ⁻¹)	318 ÷ 1592	159 ÷ 1275
	Posuv f_z (mm)	0,10; 0,20; 0,30; 0,40	0,10; 0,20; 0,30; 0,40
	Axiální hloubka řezu a_p (mm)	0,5; 1,0	0,5; 1,0
	Radiální hloubka řezu a_e (mm)	100	100
	Počet VBD ve fréze i (-)	9 + 1	7 + 1
	Rozměr obrobku $\delta \times \nu \times h$ (mm)	400 x 200 x 200	400 x 200 x 200



Obr. 6.40 hladicí VBD typu SPKX 1504EDFR; H10
(vlevo – testované hladicí VBD; vpravo – osazená fréza 160C08R-W75SP15D)



Obr. 6.41 hladicí VBD typu SNKR 1706DZSR; 8026T
(vlevo – testované hladicí VBD; vpravo – osazená fréza 160C10R-F60SN17X-1)



Obr. 6.42 Zkouška obrábění na drsnost povrchu R_a
(vlevo - fréza 160C08R-W75SP15D; vpravo - fréza 160C10R-F60SN17X-1)

Tab. 6.64 Hodnoty drsnosti povrchu R_a s hladícími VBD
($v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $a_p = 0,5 \text{ mm}$) - ocel 12 050.1

Označení kombinace VBD (ISO)	Drsnost povrchu R_a (μm)			
SPKN 1504EDSR + SPKX 1504EDFR	3,07	4,24	4,47	4,23
SPKR 1504EDSR + SPKX 1504EDFR	1,81	2,65	3,31	2,77
SNMR 1706DZSR-R + SNKR 1706DZSR	2,59	2,73	2,71	1,00
SNMR 1706DZSR-M + SNKR 1706DZSR	2,27	2,19	2,07	1,57
Posuv na zub f_z (mm)	0,10	0,20	0,30	0,40

Tab. 6.65 Hodnoty drsnosti povrchu R_a s hladícími VBD
($v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $a_p = 1,0 \text{ mm}$) - ocel 12 050.1

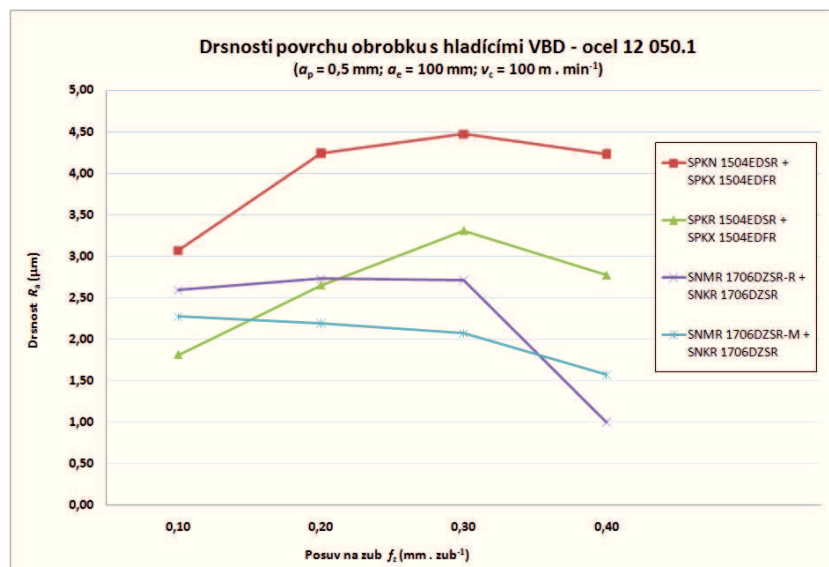
Označení kombinace VBD (ISO)	Drsnost povrchu R_a (μm)			
SPKN 1504EDSR + SPKX 1504EDFR	3,41	4,33	3,87	4,57
SPKR 1504EDSR + SPKX 1504EDFR	3,68	4,63	3,51	3,67
SNMR 1706DZSR-R + SNKR 1706DZSR	2,20	2,24	2,16	2,53
SNMR 1706DZSR-M + SNKR 1706DZSR	2,05	1,61	2,19	1,59
Posuv na zub f_z (mm)	0,10	0,20	0,30	0,40

Tab. 6.66 Hodnoty drsnosti povrchu R_a s hladícími VBD
($v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $a_p = 0,5 \text{ mm}$) - ocel 12 050.1

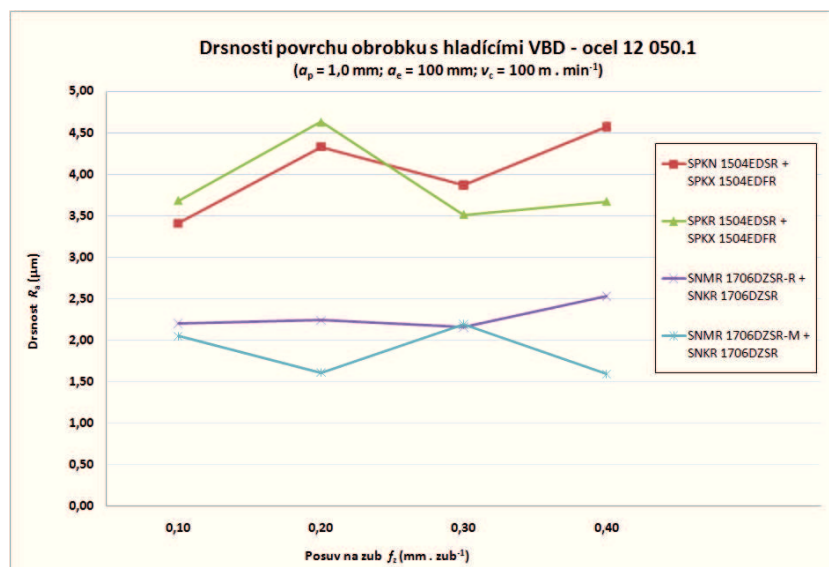
Označení kombinace VBD (ISO)	Drsnost povrchu R_a (μm)			
SPKN 1504EDSR + SPKX 1504EDFR	1,29	1,11	1,51	1,11
SPKR 1504EDSR + SPKX 1504EDFR	1,41	1,89	1,79	1,56
SNMR 1706DZSR-R + SNKR 1706DZSR	1,53	0,91	0,73	0,96
SNMR 1706DZSR-M + SNKR 1706DZSR	1,12	0,75	0,90	0,83
Posuv na zub f_z (mm)	0,10	0,20	0,30	0,40

Tab. 6.67 Hodnoty drsnosti povrchu R_a s hladícími VBD
($v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$; $a_p = 1,0 \text{ mm}$) - ocel 12 050.1

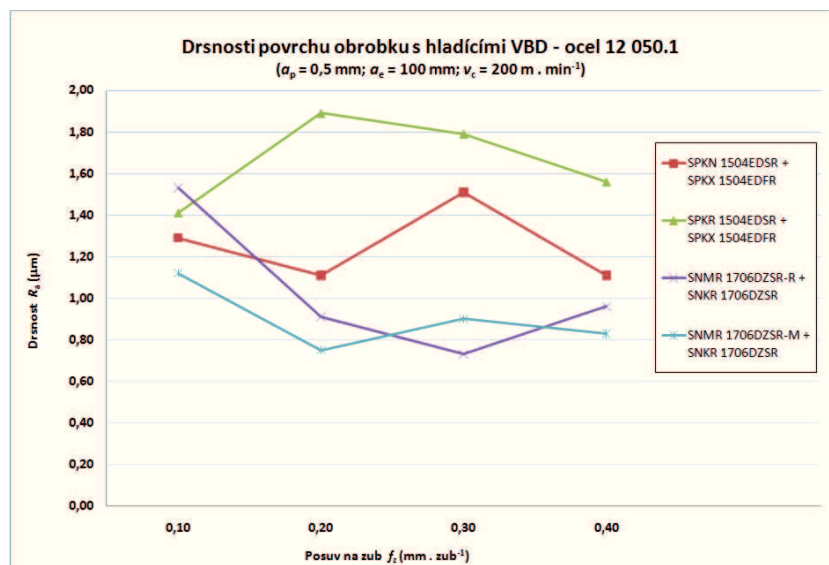
Označení kombinace VBD (ISO)	Drsnost povrchu R_a (μm)			
SPKN 1504EDSR + SPKX 1504EDFR	1,06	1,33	1,46	1,33
SPKR 1504EDSR + SPKX 1504EDFR	2,17	1,90	1,62	1,58
SNMR 1706DZSR-R + SNKR 1706DZSR	1,11	0,83	0,83	0,84
SNMR 1706DZSR-M + SNKR 1706DZSR	1,39	0,83	0,84	0,91
Posuv na zub f_z (mm)	0,10	0,20	0,30	0,40



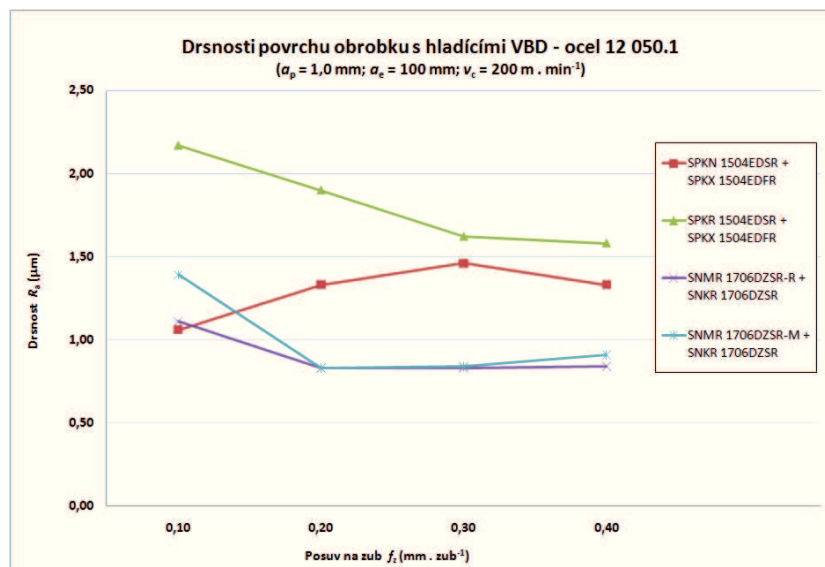
Graf 6.25 Drsnost povrchu R_a s hladíci VBD (0,5-100-100) - ocel 12 050.1



Graf 6.26 Drsnost povrchu R_a s hladíci VBD (1,0-100-100) - ocel 12 050.1



Graf 6.27 Drsnost povrchu R_a s hladíci VBD (0,5-100-200) - ocel 12 050.1



Graf 6.28 Drsnost povrchu R_a s hladíci VBD (1,0-100-200) - ocel 12 050.1

Měření drsnosti obrobeného povrchu na oceli 12 050.1 s frézami osazenými jednou hladicí VBD můžeme shrnout do následujících bodů:

- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.63) v kombinaci VBD SNMR 1706DZSR-M a hladicí VBD SNKR 1706DZSR, byly získány hodnoty obrobených povrchů uvedených v tabulkách 6.64, 6.65, 6.66 a 6.67, které se pohybují v intervalu od R_a 0,75 až R_a 2,27;
- minimální dosažená hodnota drsnosti povrchu R_a 0,75 s VBD typu SNMR 1706DZSR-M a SNKR 1706DZSR byla dosažená při posuvu na zub $f_z = 0,20$ mm, axiální hloubky řezu $a_p = 0,5$ mm a řezné rychlosti $v_c = 200$ m . min⁻¹,
- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.63) v kombinaci VBD SNMR 1706DZSR-R a hladicí VBD SNKR 1706DZSR, byly získány hodnoty obrobených povrchů uvedených v tabulkách 6.64, 6.65, 6.66 a 6.67, které se pohybují v intervalu od R_a 0,73 až R_a 2,73,
- minimální dosažená hodnota drsnosti povrchu R_a 0,73 s VBD typu SNMR 1706DZSR-R a SNKR 1706DZSR byla dosažená při posuvu na zub $f_z = 0,20$ mm, axiální hloubky řezu $a_p = 0,5$ mm a řezné rychlosti $v_c = 200$ m . min⁻¹,
- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.63) v kombinaci VBD SPKN 1504EDSR a hladicí VBD SPKX 1504EDFR, byly získány hodnoty obrobených povrchů uvedených v tabulkách 6.64, 6.65, 6.66 a 6.67, které se pohybují v intervalu od R_a 1,06 až R_a 4,57,
- minimální dosažená hodnota drsnosti povrchu R_a 1,06 s VBD typu SPKN 1504EDSR a SPKX 1504EDFR byla dosažená při posuvu na zub $f_z = 0,10$ mm, axiální hloubky řezu $a_p = 1,0$ mm a řezné rychlosti $v_c = 200$ m . min⁻¹,
- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.63) v kombinaci VBD SPKR 1504EDSR a hladicí VBD SPKX 1504EDFR, byly získány hodnoty obrobených povrchů uvedených v tabulkách 6.64, 6.65, 6.66 a 6.67 které se pohybují v intervalu od R_a 1,41 až R_a 4,63,

- h) minimální dosažená hodnota drsnosti povrchu Ra 1,41 s VBD typu SPKR 1504EDSR a SPKX 1504EDFR byla dosažena při posuvu na zub $f_z = 0,10$ mm, axiální hloubky řezu $a_p = 0,5$ mm a řezné rychlosti $v_c = 200$ m . min⁻¹,
- i) můžeme konstatovat, že největší podíl na dosažených hodnotách drsností povrchu ovlivňuje v první řadě řezná rychlost v_c , dále axiální hloubka řezu a_p a nakonec posuv na zub f_z ,
- j) lepších výsledků v hodnotách drsností povrchů dosahují nové prototypové frézy F60SN17X osazené VBD typu SNMR 17 s hladicí destičkou SNKR 17,
- k) z grafů 6.25, 6.26, 6.27 a 6.28 průběhů naměřených hodnot drsností je patrné, že i rozptyl dosažených hodnot drsností je u nových prototypových fréz a jejich VBD rovnoměrnější, než u stávajícího typu fréz W75SP15D a jejich destiček typu SPKN 15, SPKR 15 a hladicí destičky SPKX 15,
- l) optimální volba řezných podmínek zásadně ovlivňuje dosažené výsledky drsnosti obrobeného povrchu než volba mezi geometrií -M nebo -R u destiček SNMR 17.

6.3.1.5.4 Drsnost obrobené plochy s hladicími VBD na korozivzdorné oceli 17 349 (X2 CrNiMo 17-12-2)

Drsnost obrobené plochy byla měřena na obrobku, korozivzdorné oceli jakosti 17 349.4, s prototypovými frézami typu 160C10R-F60SN17X-1, 160C10R-F60SN17X-2 osazenými 10 ks kusy VBD ve skladbě:

- a) 9 ks VBD typu SNMR 1706DZSR-M + 1 ks VBD typu SNKR 1706DZSR,
- b) 9 ks VBD typu SNMR 1706DZSR-R + 1 ks VBD typu SNKR 1706DZSR.

Pro porovnání byla drsnost povrchu rovněž odzkoušena s frézami typu 160C08R-W75SP15D osazenými 8 ks VBD ve složení:

- a) 7 ks VBD typu SPKN 1504EDSR + 1 ks VBD typu SPKX 1504EDFR,
- b) 7 ks VBD typu SPKN 1504EDSR + 1 ks VBD typu SPKX 1504EDFR.

Řezné podmínky pro oba typy fréz a jejich destiček, včetně rozměru obrobku jsou uvedeny v tabulce 5.68. Po každém průjezdu nástroje obrobkem, byla změřena drsnost obrobené plochy mobilním drsnoměrem HOMMEL TESTER T500 (obr. 5.20, kapitola 5.3.1.5), vždy uprostřed obrobku, ve směru posuvu f .

Naměřené hodnoty drsností povrchů Ra pro jednotlivé případy řezných podmínek jsou uvedeny v tabulce 6.69 a tabulce 6.70. Grafické znázornění hodnot drsností povrchů Ra jsou uvedeny v grafu 6.29 a grafu 6.30.

Tab. 6.68 Řezné podmínky pro měření drsnosti povrchů s hladicími VBD -
korozivzdorná ocel 17 349.4

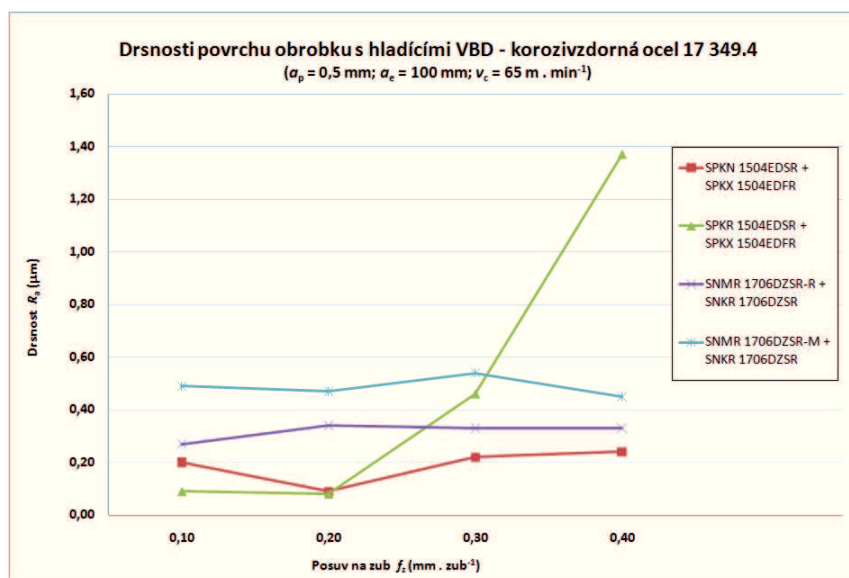
Nástroj	Výrobce	PRAMET	PRAMET
	Označení	160C10R-F60SN17X-1 160C10R-F60SN17X-2	160C08R-W75SP15D
	Standardní VBD	SNMR 1706DZSR-M SNMR 1706DZSR-R	SPKN 1504EDSR SPKR 1504EDSR
	Jakost SK standardních VBD	8230	8230
	Hladicí VBD	SNKR 1706DZSR	SPKX 1504EDFR
	Jakost SK hladicích VBD	8026T	H10
Pracovní podmínky	Průměr frézy D (mm)	160	160
	Řezná rychlost v_c ($m \cdot min^{-1}$)	65	65
	Posuv f ($mm \cdot min^{-1}$)	129; 258; 387; 516	103; 206; 310; 413
	Posuv f_z (mm)	0,10; 0,20; 0,30; 0,40	0,10; 0,20; 0,30; 0,40
	Axiální hloubka řezu a_p (mm)	0,5; 1,0	0,5; 1,0
	Radiální hloubka řezu a_e (mm)	100	100
	Počet VBD ve fréze i (-)	9 + 1	7 + 1
	Rozměr obrobku $\delta \times \nu \times h$ (mm)	400 x 200 x 200	400 x 200 x 200

Tab. 6.69 Hodnoty drsnosti povrchu R_a s hladicími VBD
($v_c = 65 m \cdot min^{-1}$; $a_p = 0,5 mm$) - korozivzdorná ocel 17 349.4

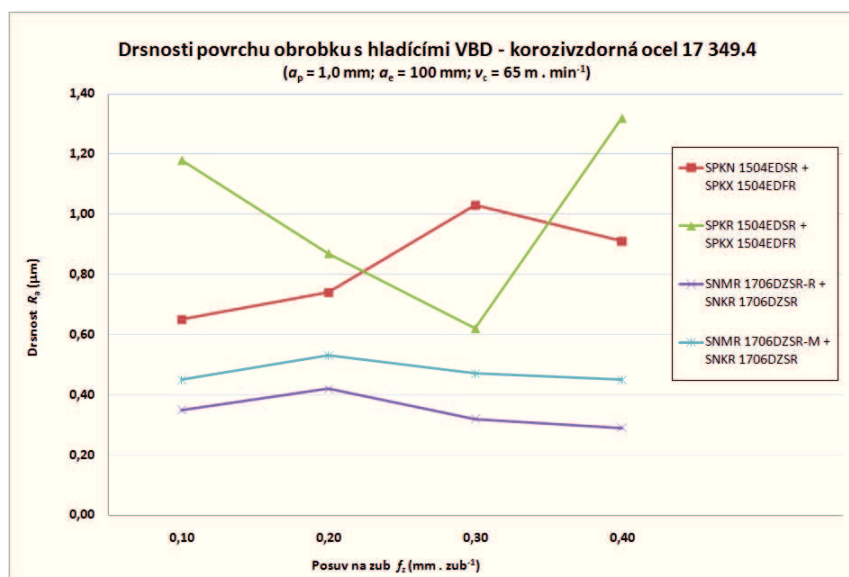
Označení kombinace VBD (ISO)	Drsnost povrchu R_a (μm)			
SPKN 1504EDSR + SPKX 1504EDFR	0,20	0,09	0,22	0,24
SPKR 1504EDSR + SPKX 1504EDFR	0,09	0,08	0,46	1,37
SNMR 1706DZSR-R + SNKR 1706DZSR	0,27	0,34	0,33	0,33
SNMR 1706DZSR-M + SNKR 1706DZSR	0,49	0,47	0,54	0,45
Posuv na zub f_z (mm)	0,10	0,20	0,30	0,40

Tab. 6.70 Hodnoty drsnosti povrchu R_a s hladicími VBD
($v_c = 65 m \cdot min^{-1}$; $a_p = 1,0 mm$) - korozivzdorná ocel 17 349.4

Označení kombinace VBD (ISO)	Drsnost povrchu R_a (μm)			
SPKN 1504EDSR + SPKX 1504EDFR	0,65	0,74	1,03	0,91
SPKR 1504EDSR + SPKX 1504EDFR	1,18	0,87	0,62	1,32
SNMR 1706DZSR-R + SNKR 1706DZSR	0,35	0,42	0,32	0,29
SNMR 1706DZSR-M + SNKR 1706DZSR	0,45	0,53	0,47	0,45
Posuv na zub f_z (mm)	0,10	0,20	0,30	0,40



Graf 6.29 Drsnost povrchu R_a s hladíci VBD (0,5-100-65) - korozivzdorná ocel 17 349.4



Graf 6.30 Drsnost povrchu R_a s hladíci VBD (1,0-100-65) - korozivzdorná ocel 17 349.4

Měření drsnosti obrobeného povrchu na korozivzdorné oceli 17 349.4 s frézami osazenými jednou hladicí VBD můžeme shrnout do následujících bodů:

- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.68) v kombinaci VBD SNMR 1706DZSR-M a hladicí VBD SNKR 1706DZSR, byly získány hodnoty obrobených povrchů uvedených v tabulkách 6.69 a 5.70, které se pohybují v intervalu od R_a 0,45 až R_a 0,54,
- minimální dosažená hodnota drsnosti povrchu R_a 0,45 s VBD typu SNMR 1706DZSR-M a SNKR 1706DZSR byla dosažená při posuvu na zub $f_z = 0,10$ a $0,40 \text{ mm}$, axiální hloubky řezu $a_p = 1,0 \text{ mm}$ a řezné rychlosti $v_c = 65 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
- ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.68) v kombinaci VBD SNMR 1706DZSR-R a hladicí VBD SNKR 1706DZSR, byly získány hodnoty obrobených povrchů uvedených v tabulkách 6.69 a 6.70, které se pohybují v intervalu od R_a 0,27 až R_a 0,42,

- d) minimální dosažená hodnota drsnosti povrchu $Ra\ 0,27$ s VBD typu SNMR 1706DZSR-R a SNKR 1706DZSR byla dosažená při posuvu na zub $f_z = 0,10\text{ mm}$, axiální hloubky řezu $a_p = 0,5\text{ mm}$ a řezné rychlosti $v_c = 65\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
- e) ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.68) v kombinaci VBD SPKN 1504EDSR a hladicí VBD SPKX 1504EDFR, byly získány hodnoty obrobených povrchů uvedených v tabulkách 6.69 a 6.70, které se pohybují v intervalu od $Ra\ 0,09$ až $Ra\ 1,03$,
- f) minimální dosažená hodnota drsnosti povrchu $Ra\ 0,09$ s VBD typu SPKN 1504EDSR a SPKX 1504EDFR byla dosažená při posuvu na zub $f_z = 0,20\text{ mm}$, axiální hloubky řezu $a_p = 0,5\text{ mm}$ a řezné rychlosti $v_c = 65\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
- g) ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek obrábění (tab. 6.68) v kombinaci VBD SPKR 1504EDSR a hladicí VBD SPKX 1504EDFR, byly získány hodnoty obrobených povrchů uvedených v tabulkách 6.69 a 6.70, které se pohybují v intervalu od $Ra\ 0,08$ až $Ra\ 1,37$,
- h) minimální dosažená hodnota drsnosti povrchu $Ra\ 0,08$ s VBD typu SPKR 1504EDSR a SPKX 1504EDFR byla dosažená při posuvu na zub $f_z = 0,20\text{ mm}$, axiální hloubky řezu $a_p = 0,5\text{ mm}$ a řezné rychlosti $v_c = 65\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
- i) obecně můžeme konstatovat, že největší podíl na dosažených hodnotách drsností povrchu ovlivňuje v první řadě axiální hloubka řezu a_p a posuv na zub f_z , řezná rychlost v_c byla neměnná,
- j) stabilnějších výsledků v hodnotách drsností povrchů dosahují nové prototypové frézy F60SN17X osazené VBD typu SNMR 17 s hladicí destičkou SNKR 17 a to v obou případech jak při $a_p = 0,5\text{ mm}$, tak $a_p = 1,0\text{ mm}$,
- k) rovněž z grafů průběhů naměřených hodnot drsností (graf 6.29 a graf 6.30) je patrné, že i rozptyl dosažených hodnot drsností je u nových prototypových fréz typu F60SN17X a jejich VBD rovnoměrnější, než u stávajícího typu fréz W75SP15D a jejich destiček typu SPKN 15, SPKR 15 a hladicí destičky SPKX 15; i když tyto kombinace dosáhli překvapivě lepších výsledků hodnot drsností povrchů ($Ra\ 0,08$; $Ra\ 0,09$) než u fréz s destičkami SNMR 17,
- l) i zde optimální volba řezných podmínek zásadně ovlivňuje dosažené výsledky drsnosti obrobeného povrchu než volba mezi geometrií -M nebo -R u destiček SNMR 17 a destiček typu SPKN 15, SPKR 15.

6.3.2 Zkoušky obrábění u vybraných zákazníků

Mezi vybrané zákazníky pro zkoušky obrábění patří partnerské firmy a společnosti s dlouholetou tradicí v oblasti používání nástrojů firmy Pramet. Dále nově získané firmy z obchodních příležitostí, případně náhodní zákazníci, jejich potřeby v oblasti nástrojů pro třískové obrábění dokáže firma Pramet uspokojit. Vhodnost těchto zákazníků závisí rovněž na výrobním portfoliu firmy, vybavenosti strojního parku, charakteru výroby a v neposlední řadě i používanými řeznými podmínkami či vhodnosti dané výrobní aplikace.

V rámci disertační práce a vývoje a testování nových nástrojů řady F60SN17X byly prototypy těchto nástrojů nasazeny (porovnány) a odzkoušeny ve firmách Škoda Power v Plzni a ve firmě Klima v Prachaticích.

6.3.2.1 Škoda Power, Plzeň

Porovnávací zkouška obrábění s prototypem frézy průměr $D = 160$ mm (ozn. 160C10R-F60SN17X-3) proti nástroji firmy Walter. Obrábění bylo zaměřeno na operaci frézování přední stykové plochy (límce) horního krytu turbíny - mezikruží (obr. 6.43). Vnější průměr dosahoval rozměru 3,15 m, vnitřní průměr 2 m. Příklad na opracování byl v rozmezí 6 mm až 9 mm. Frézování pouze na jeden úběr. Základní technické parametry stroje a obrobku jsou uvedeny v tabulce 6.71.



Obr. 6.43 Obrobek - Kryt turbíny (Škoda Power, Plzeň)

Tab. 6.71 Základní technické parametry stroje a obrobku

Stroj	Typ	HCW 3
	Výkon	100 kW
	Technický stav	100 %
Obrobek	Název	Horní díl tělesa
	Požadovaná drsnost	100 R_z
	Obráběný materiál dle ČSN	11 523
	Skupina materiálu podle ISO 513	P

Současný stav

Příklad na frézování dílce turbíny je standardně odebíráán frézovacím nástrojem s tangenciálně uloženými VBD typu LNMU 150812-F75T; WPK 35, výrobce Walter (obr. 6.44).



Obr. 6.44 Nástroj firmy Walter – typ F.2260.B.160.Z10.11

Porovnávací zkouška byla zaměřena na schopnosti konkurovat tangenciálnímu řešení fréz, frézami s radiálně umístěnými VBD, kterými frézy řady F60SN17X jsou. Parametry porovnávací zkoušky jsou uvedeny v tabulce 6.72. Vyhodnocení porovnávací řezné zkoušky je uvedeno v tabulce 6.73.

Tab. 6.72 Parametry porovnávací zkoušky Pramet vs Walter

Nástroj	Výrobce	PRAMET	WALTER
	Označení	160C10R-F60SN17X-3	F.2260.B.160.Z10.11
	VBD	SNMR 1706DZSR	LNMU 150812
	Utvařeč	M	F75T
	Jakost SK	8230	WPK 35
Pracovní podmínky	Řezná rychlost v_c (m . min⁻¹)	185	185
	Posuv f (mm . min⁻¹)	1300	1300
	Posuv f_z (mm)	0,35	0,35
	Axiální hloubka řezu a_p (mm)	8,00	8,00
	Radiální hloubka řezu a_e (mm)	135,00	135,00
	Počet záběrů i (-)	1	1
	Obráběná délka l (mm)	32 000	32 000
	Povrchová kůra	ne	ne
	Procesní kapalina	ano	ano

Tab. 6.73 Vyhodnocení porovnávací zkoušky Pramet vs Walter

Výrobce	PRAMET	WALTER
Drsnost R_z (μm)	100	100
Trvanlivost břítu T (min)	45,0	45,0
Trvanlivost v kusech T_{pes} (-)	-	-
Parametr opotřebení VB (mm)	neměřen	neměřen
Křehká destrukce břítu	ne	ne
Tvorba nárůstku	ne	ne
Plastická deformace špičky	ne	ne
Druh třísky	7	7
Tuhost soustavy S-O-N	2	2

Výsledky porovnávací zkoušky na obrobně ve firmě Škoda Power, Plzeň můžeme shrnout do následujících bodů:

- obrábění krytu tělesa turbíny je prováděno stávajícím frézovacím nástrojem firmy Walter typ: F.2260.B.160.Z10.11 s VBD typu LNMU 150812-F75T; WPK 35 s trvanlivostí ostří $T = 45$ minut při daných řezných podmínkách (tab. 6.72),
- porovnávací zkouška obrábění byla provedena s nasazením prototypu frézovacího nástroje Pramet, označení frézy 160C10R-F60SN17X-3 osazené VBD typu SNMR 1706DZSR-M; 8230 za stejných řezných podmínek vůči Waltru (tab. 6.72),
- hlavním požadavkem porovnávací zkoušky bylo dosažení shodné jakosti obrobené plochy s parametrem $R_z = 100 \mu\text{m}$,
- prototypová fréza 160C10R-F60SN17X-3 dosáhla stejných výsledků vůči stávajícímu frézovacímu nástroji, tedy trvanlivosti ostří $T = 45$ minut a jakosti obrobené plochy $R_z = 100 \mu\text{m}$,
- můžeme konstatovat, že prototypová fréza 160C10R-F60SN17X-3 je schopna konkurovat při daných řezných podmínkách pro danou aplikaci tangenciálnímu řešení fréz.

6.3.2.2 Klima, Prachatice

Porovnávací zkouška obrábění s prototypem frézy průměr $D = 160$ mm (ozn. 160C10R-F60SN17X-3). Zde byly provedeny dvě porovnávací zkoušky vždy na stejném obrobku. První v pořadí byla porovnávací zkouška obrábění na článku korečkového pásu (obr. 6.45) s parametry obrábění uvedenými v tabulce 6.74. a tabulce 6.75.



Obr. 6.45 Článek korečkového pásu v Klima, Prachatice

Tab. 6.74 Základní parametry stroje a obrobku v Klima, Prachatice (1)

Stroj	Typ	WHN 13 CNC
	Výkon	32 kW
	Technický stav	100 %
Obrodek	Název	Článek korečkového pásu
	Požadovaná drsnost	$R_z 100$
	Obráběný materiál dle ČSN	12 050
	Skupina materiálu podle ISO 513	P

Současný stav

Z korečkového článku pásu je standardně odebírána frézovacím nástrojem s destičkami typu SNMT 1205AZSR-R (výrobce Pramet) hloubka odebíraného materiálu je 8 až 10 mm, na dva úběry. Původně byla hloubka odebíraného materiálu 8 až 10 mm obráběna frézou řady W75SP15D s destičkami typu SPKN 1504. Nasazením nástroje s destičkami SNMT 1205AZSR-R bylo docíleno 3x vyšší produktivity práce než v případě nástroje řady W75SP15D a destiček SPKN 1504. Jedinou nevýhodou však byla právě nutnost obrábět destičkami SNMT 12 opět na dva úběry.

Porovnávací zkouška byla tedy zaměřena na schopnost nové konstrukce frézy - prototypu Pramet s destičkami SNMR 17, provést obrobení plochy tj. hloubky odebíraného materiálu pouze na jeden úběr při využití maximálního výkonu stroje - frézky. Parametry porovnávací zkoušky jsou uvedeny v tabulce 6.75. Vyhodnocení porovnávací řezné zkoušky je uvedeno v tabulce 6.76.

Tab. 6.75 Parametry porovnávací zkoušky Pramet SNMR vs SNMT

Nástroj	Výrobce	PRAMET	PRAMET
	Označení	160C10R-F60SN17X-3	160C10R-S45SN12Z
	VBD	SNMR 1706DZSR	SNMT 1205AZSR
	Utvařeč	M	R
	Jakost SK	8230	8240
Pracovní podmínky	Řezná rychlost v_c (m . min⁻¹)	160	160
	Otáčky n (1 . min⁻¹)	320	320
	Posuv f (mm . min⁻¹)	1120	1440
	Posuv f_z (mm)	0,35	0,45
	Axiální hloubka řezu a_p (mm)	8,00	4,00
	Radiální hloubka řezu a_e (mm)	145,0	145,0
	Počet záběrů i (-)	1	2
	Obráběná délka l (mm)	2400	2400
	Povrchová kůra	ne	ne
	Procesní kapalina	ano	ano

Tab. 6.76 Vyhodnocení porovnávací zkoušky Pramet SNMR vs SNMT

Výrobce	PRAMET	PRAMET
Označení frézy	160C10R-F60SN17X-3	160C10R-S45SN12Z
Drsnost R_z (μm)	100	100
Trvanlivost bříty T (min)	40	30
Trvanlivost v kusech T_{pcs} (-)	-	-
Parametr opotřebení VB (mm)	neměřen	neměřen
Křehká destrukce bříty	ne	ne
Tvorba nárůstku	ne	ne
Plastická deformace špičky	ne	ne
Druh třísky	7	7
Tuhost soustavy S-O-N	2	2

Výsledky porovnávací zkoušky na obrobně ve firmě Klima v Prachaticích, mezi nástroji s VBD typu SNMR 17 a SNMT 12 můžeme shrnout do následujících bodů:

- obrábění vrstvy korečkového článku je prováděno stávajícím frézovacím nástrojem Pramet 160C10R-S45SN12Z s VBD SNMT 1205AZSR-R; 8240 s trvanlivostí ostří $T = 30$ minut na dva úběry,
- porovnávací zkouška obrábění byla provedena s nasazením prototypu 160C10R-F60SN17X-3 osazené VBD typu SNMR 1706DZSR-M; 8230 za modifikovaných řezných podmínek s ohledem na maximální výkon frézky,
- hlavním požadavkem porovnávací zkoušky bylo dosažení shodné jakosti obrobené plochy s parametrem $R_z = 100 \mu\text{m}$,
- prototypová fréza 160C10R-F60SN17X-3 dosáhla lepších výsledků vůči stávajícímu frézovacímu nástroji - trvanlivosti ostří $T = 40$ minut a jakosti obrobené plochy $R_z = 100 \mu\text{m}$,
- můžeme konstatovat, že prototypová fréza 160C10R-F60SN17X-3 je při daných řezných podmínkách produktivnější v dané operaci frézování než stávající fréza s VBD typu SNMT 12.

Druhá porovnávací zkouška byla provedena opět na článku korečkového pásu, avšak s parametry uvedenými v tabulce 6.77 a tabulce 6.78.

Tab. 6.77 Základní parametry stroje a obrobku v Klima, Prachatice (2)

Stroj	Typ	WHN 13
	Výkon	24 kW
	Technický stav	75 %
Obrobek	Název	Článek korečkového pásu
	Požadovaná drsnost	Rz 100
	Obráběný materiál dle ČSN	12 050
	Skupina materiálu podle ISO 513	P

Současný stav

Na jiném pracovišti je z korečkového článku pásu odebírána vrstva cca 8 až 10 mm. Zde je nasazen nástroj s VBD typu SPKN 1504EDER. Porovnávací zkouška byla zaměřena na porovnání VBD typu SNMR 17 a frézy provést obrobení plochy na jeden úběr s ohledem na výkon frézky $P = 24$ kW. Parametry porovnávací zkoušky jsou uvedeny v tabulce 6.78. Vyhodnocení porovnávací řezné zkoušky je uvedeno v tabulce 6.79.

Tab. 6.78 Parametry porovnávací řezné zkoušky Pramet SNMR vs SPKN

Nástroj	Výrobce	PRAMET	PRAMET
	Označení	160C10R-F60SN17X-3	160C08R-W75SP15D
	VBD	SNMR 1706DZSR	SPKN 1504EDER
	Utvařec	M	-
	Jakost SK	8230	8040
Pracovní podmínky	Řezná rychlost v_c (m . min ⁻¹)	160	130
	Otáčky n (1 . min ⁻¹)	320	260
	Posuv f (mm . min ⁻¹)	1120	420
	Posuv f_z (mm)	0,35	0,20
	Axiální hloubka řezu a_p (mm)	8,00	4,00
	Radiální hloubka řezu a_e (mm)	145,0	145,0
	Počet záběrů i (-)	1	2
	Obráběná délka l (mm)	2400	2400
	Povrchová kůra	ne	ne
	Procesní kapalina	ne	ne

Tab. 6.79 Vyhodnocení porovnávací zkoušky Pramet SNMR vs SPKN

Výrobce	PRAMET	PRAMET
Označení frézy	160C10R-F60SN17X-3	160C08R-W75SP15D
Drsnost Rz (μm)	100	100
Trvanlivost břitů T (min)	40	50
Trvanlivost v kusech T_{pes} (-)	-	-
Parametr opotřebení VB (mm)	neměřen	neměřen
Křehká destrukce břitů	ne	ne
Tvorba nárůstku	ne	ne
Plastická deformace špičky	ne	ne
Druh třísky	7	7
Tuhost soustavy S-O-N	2	2

Výsledky *porovnávací zkoušky* na obrobně ve firmě Klima, Prachatice mezi nástroji s VBD typu SNMR 17 a SPKN 15 můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) obrábění vrstvy korečkového článku je zde prováděno stávajícím frézovacím nástrojem Pramet, označení frézy 160C08R-W75SP15D s VBD typu SPKN 1504EDER; 8040 s trvanlivostí ostří $T = 50$ minut při daných řezných podmínkách,
- b) porovnávací zkouška obrábění byla provedena s nasazením prototypu frézovacího nástroje Pramet, označení frézy 160C10R-F60SN17X-3 osazené VBD typu SNMR 1706DZSR-M; 8230 za modifikovaných řezných podmínek s ohledem na maximální výkon frézky,
- c) hlavním požadavkem porovnávací zkoušky bylo dosažení shodné jakosti obrobené plochy s parametrem $R_z = 100 \mu\text{m}$,
- d) prototypová fréza Pramet 160C10R-F60SN17X-3 dosáhla sice nižší hranice trvanlivosti ostří $T = 40$ minut a shodné jakosti obrobené plochy $R_z = 100 \mu\text{m}$, nicméně za intenzivnějších řezných podmínek a to především minutového posuvu f_{min} a posuvu na zub f_z ,
- e) můžeme konstatovat, že prototypová fréza Pramet je při daných řezných podmínkách produktivnější v dané operaci frézování než stávající fréza s VBD typu SPKN 15

6.3.3 Vyhodnocení řezných vlastností prototypů

Prototypové frézy řady F60SN17X s destičkami SNMR 1706DZSR obstáli ve všech případech během zkoušek obrábění jak na zkušebně obrábění Pramet, tak u zákazníků. Nástroj svojí koncepcí a konstrukcí patří do oblasti hrubovacích nástrojů, kde je největším požadavkem na vlastnost nástrojů této kategorie:

- spolehlivost provozu,
- funkčnost a stabilita upnutí,
- obměna a výměna VBD,
- výměna ostatních komponentů systému upínání (opěrná podložka, šroubek upínací podložky, upínací diferenciální šroub a upínací klín).

Nezbytnou vlastností kladenou na nástroj je dosahovaná trvanlivost, životnost a řezivost nástroje v řezu při daných řezných podmínkách pro danou aplikaci. Optimální utváření třísky, bezproblémový a bezpečný odchod odebíraného materiálu z řezu jsou dnes již standardní požadavky kladené na nástroje této kategorie. Můžeme konstatovat, že námi testované prototypy nástrojů fréz řady F60SN17X splnily tyto požadavky bez problémů.

V rámci řezných zkoušek obrábění s prototypy frézy řady F60SN17X, byly tyto frézy podrobeny testy na dosažení a porovnání trvanlivosti a řezivosti jak na oceli 12 050.9, tak na korozivzdorné oceli 17 349.4, dále testy na porovnání řezných sil při obrábění na oceli 12 050.9 v laboratorních podmínkách, při osazení frézy s jednou a všemi destičkami v nástroji a s tím související porovnání dosažených a potřebných (požadovaných) hodnot příkonu stroje, odebraného objemu materiálu za jednotku času. Posledním blokem řezných zkoušek, bylo porovnání na dosažené hodnoty jakostí obrobených ploch a to opět jak na oceli 12 050.9, tak i na korozivzdorné oceli 17 319.4, v případě, že byla fréza osazena standardními destičkami (geometriemi) a v případě kombinace standardních destiček a s použitím speciálních hladících destiček.

V průběhu řezných zkoušek na zkušebně obrábění, vykázali nástroje řady F60SN17X vysoký potenciál a spolehlivost provozu.

Na základě dosažených výsledků z řezných zkoušek ze zkušebny obrábění Pramet, byly prototypové nástroje dále nasazeny na řezné zkoušky v ostrém provozu u vybraných dvou zákazníků. Ve firmě Škoda Power v Plzni, byly nástroje nasazeny proti „tvrdé“ konkurenci světoznámé firmy Walter a to vůči nástrojům pro stejnou oblast použití, nicméně s jinou koncepcí a konstrukcí frézy. Pramet nasadil frézy řady F60SN17X koncepčně řešené jako nástroje s VBD radiálně usazenými v lůžkách frézy, naopak konkurenční řešení od firmy Walter používá tangenciální uložení VBD v lůžkách frézy. I při této konstrukční odlišnosti, uspělo naše řešení a byly dosaženy shodné výsledky řezných z řezných zkoušek. Ověření řezných vlastností u zákazníka Klima, Prachatice si kladly za cíl nasadit naši novou koncepci nástrojů F60SN17X vůči „starému“ řešení nástrojů firmy Pramet. Dva bloky porovnávacích zkoušek obrábění potvrdily vysoký potenciál námi navržených fréz s destičkami SNMR 17.

Závěrem vyhodnocení řezných vlastností prototypu je nezbytné zmínit, že nástroje jsou určeny pro polohrubovací obrábění rovinných ploch, kde jsou kladeny na nástroje vysoké požadavky na spolehlivost provozu, optimální hodnoty trvanlivosti, jakosti obrobené plochy, poměru řezných sil k příkonu atd. Nástroje této řady naši zákazníci jistě ocení v mnoha ohledech – jednoduchost konstrukce, spolehlivost, dostupnost a jednoduchá výměna VBD a náhradních dílů.

7 Návrh směrnice (metodický pokyn)

Na základě dosažených výsledků byl zpracován návrh znění směrnice – metodického pokynu pro testování prototypů frézovacích nástrojů pro hrubování. Směrnice popisuje metodiku testování prototypů frézovacích nástrojů pro hrubování. Popisuje jednotlivé činnosti, předepisuje prostředky a pomůcky použité při testování nástrojů, definuje příslušné zodpovědnosti zainteresovaných pracovníků. Návrh směrnice je zařazen do kategorie směrnic týkající se „Řízení výrobků a služeb“ dle příslušné hierarchie směrnic společnosti Pramet Tools, s.r.o. Šumperk.

Směrnice si klade za cíl, popsat všechny činnosti, které souvisejí s testováním prototypů frézovacích nástrojů pro hrubování. Disertační práce, potažmo její obsah kapitoly 6 a následných podkapitol názorně popisuje průběh měření, analýzy, testování, vyhodnocování výsledků atd.

V případě testování nových, dalších nástrojů pro hrubování lze metodicky postupovat zcela stejným způsobem, jako tomu bylo u frézovacích nástrojů řady F60SN17X s destičkami SNMR 1706DZSR.

Znění návrhu směrnice je uvedeno v Příloze č. 11

8 Diskuze výsledků

Disertační práce si kladla za cíl řešit problematiku sortimentu frézovacích nástrojů nejvýznamnějšího domácího výrobce v oblasti nástrojů pro třískové obrábění, společnost Pramet Tools, s.r.o. Šumperk. V současném sortimentu frézovacích nástrojů nacházejí frézovací nástroje určené pro oblast hrubování, avšak, tyto jsou již svou konstrukcí a využitím na nižší úrovni užitných vlastností než u nástrojů nových generací a nástrojů konkurenčních firem.

Důraz a hlavní náplní disertační práce bylo navrhnout jistá pravidla a postupy, s využitím interních prostředků, vybavení pracovišť, lidských zdrojů, měřidel, přípravků a pomůcek. Provést a zpracovat metodiku testování a zkoušení nových frézovacích nástrojů – prototypů, tak aby bylo možno efektivněji využít získaná data a aby bylo možno tyto data získávat stejným způsobem u celého spektra nástrojů a to nejen pro hrubovací operace a dále aby navržená metodika umožnila získaná a zpracovaná data využít jako vstupní data pro další zkoušky obrábění s maximální úsporou časů a tedy i nákladů.

Mezi hlavní cíle disertační práce bylo:

- a) analyzovat sortiment frézovacích nástrojů pro oblast hrubování (střední až těžké hrubování),
- b) vytipovat vybranou část sortimentu fréz pro inovační proces,
- c) navrhnout nové konstrukční řešení frézy jako náhradu za část sortimentu,
- d) vyrobit prototypový nástroj – frézu (vhodné zástupce),
- e) vyrobit prototypové dávky vyměnitelných břitových destiček,
- f) provést měření nástroje a destiček známými postupy,
- g) otestovat a odzkoušet prototypy nástrojů na zkušebně Pramet a u vybraných zákazníků,
- h) provést vyhodnocení prototypových zkoušek a analyzovat dosažené výsledky,
- i) navrhnout znění směrnice, jako metodiky testování prototypových frézovacích nástrojů pro oblast těžkého hrubování.

ad a) analyzovat sortiment frézovacích nástrojů pro oblast hrubování (střední až těžké hrubování),

Byla provedena analýza stavu současného sortimentu nástrojů a VBD určená pro oblast středního až těžkého hrubování. Z produktového katalogu Frézování byly analyzovány nástroje, které jsou svou konstrukcí, a provedením určeny pro stejnou oblast použití. Nástroje se v této skupině překrývají svými vlastnostmi použití (průměry, zubatosti, hloubkou řezu, apod.). Mezi nejdůležitější vlastnost v této skupině nástrojů patří především použití z pohledu maximální axiální hloubky řezu $a_{p\max}$. Nástroje si v celém rozsahu svých parametrů navzájem „konkurují“ a svými technickými parametry „překrývají“ (např. parametr rozsah posuvů na zub f_z). Analýza sortimentu byla rovněž provedena po stránce ekonomické v návaznosti na množství skladových položek, nákladů a efektivity skladových zásob. Zde se prolíná úhel pohledu na stavy prodeje nástrojů této kategorie, nákladů, cen a přidané hodnoty, zisku.

ad b) vytipovat vybranou část sortimentu fréz pro inovační proces

Po analýze sortimentu byly vytipovány nástroje, které se svou konstrukcí, použitím a technickými parametry „překrývají“. Tyto nástroje je vhodné odstranit z produktového katalogu nástrojů a nahradit celou tuto skupinu nástrojů pokud možno jedním typem nástroje. Podmínkou však zůstává, aby nový nástroj svými technickými parametry tento původní sortiment nahradí.

ad c) navrhnout nové konstrukční řešení frézy jako náhradu za část sortimentu

Bylo navrženo a stanoveno zadání pro nový sortiment nástrojů, které svým použitím a aplikační oblastí v budoucnu pokryjí oblast za vyřazené nástroje. V rámci konstrukčních prací bylo provedeno a vytvořeno celkem 6 konstrukčních návrhů geometrií fréz, velikosti a systému upínání VBD ze slinutého karbidu. Všechna návrhová řešení byla zpracována pro frézu průměru $D = 200$ mm, hodnotu maximální axiální hloubky řezu $a_{p\max} = 10$ mm, s počtem zubů $z = 10$. Jednotlivá návrhová řešení se od sebe liší především geometrií, tj. axiálním úhlem čela γ_f a radiálním úhlem čela γ_p , dále typem upínání VBD (šroubek, klín) a úhlem nastavení χ_r . Poslední návrhové řešení nabídlo úvahu o tangenciálním způsobu řešení VBD. Po následné diskuzi a analýze řešitelského týmu, byla vybrána verze uvedená v tab. 4.2, kapitoly 4.3. Konstrukce zvoleného řešení byla dopracována o detailní konstrukční řešení samotných VBD. Aplikační oblast použití nástroje s ohledem na fakt, že nový návrh musí nahradit celé spektrum nástrojů, které budou vyřazené, byly provedeny návrhy VBD ve dvou geometriích (-M a -R), a dále geometrii pro hladicí operace, tzv. hladicí destičku.

ad d) vyrobit prototypový nástroj – frézu (vhodné zástupce)

Z provedeného výběru nejvhodnějšího konstrukčního řešení bylo rozhodnuto řešitelským týmem o zahájení výroby prototypů frézovacích nástrojů o průměrech fréz $D = 200$ mm a $D = 160$ mm. Průměr frézy $D = 200$ mm byl představen v rámci návrhových řešení. Pro realizaci vlastní výroby prototypu bylo nutné dokončit a rozpracovat výkresy polotovaru pro výrobu a detailní výkresy pro výrobu upínacího lůžka frézy pro upnutí příslušných typů VBD pro daný průměr frézy. Totéž bylo provedeno pro průměr frézy $D = 160$ mm. Ostatní podklady a dokumentace byla připravena podle vnitřních pravidel (směrnic) společnosti Pramet Tools. Byla vystavena objednávka na Oddělení Speciálů, na provedení výroby obou průměrů fréz v počtu 3 ks od každého průměru. Následně byly vyrobeny tyto prototypy nástrojů v materiálu 16 343 s povrchem oxidační černě, dodány ve smontovaném stavu se všemi komponenty, příslušně označeny, zabaleny a nakonzervovány podle vnitřních směrnic.

ad e) vyrobit prototypové dávky vyměnitelných břitových destiček

V návaznosti na konstrukční řešení prototypových fréz byly rozpracovány jednotlivé konstrukce VBD. Vlastní výrobě VBD předchází výroba lisovacích nástrojů (kapitola 4.4.2), která se skládá ze tří hlavních komponent, tj. horní razník, spodní razník a matrice. Horní a spodní razníky byly vyrobeny v počtu 2 kusů pro každou uvažovanou geometrii, tak aby tvořily spolu pár. Po vyrobení lisovacích nástrojů byly zadány do výroby prototypové dávky vyměnitelných břitových destiček ze slinutého karbidu, opatřenými příslušným typem krycího povlaku v materiálech 8230 a 8026T, podle obchodního značení společnosti Pramet Tools (kapitola 4.4.3 a 4.4.3.1).

ad f) provést měření nástroje a destiček známými postupy

Měření prototypových nástrojů – fréz a VBD ze slinutého karbidu bylo rozpracováno odděleně, samostatně.

Pro měření prototypových fréz byly popsány a rozpracovány jednotlivé metodiky měření. Mezi hlavní parametry u fréz bylo řešeno měření řezného průměru D , výšky nástroje L , velikost upínacího otvoru d_1 , velikost dotahu a a na závěr i tvrdost tělesa v jednotkách HRC. Těchto 5 základních parametrů je nejdůležitějších pro prověření nástroje z hlediska svých rozměrových vlastností co do přesnosti a následně v návaznosti na funkčnost nástroje. Pro měření jednotlivých parametrů byly navrženy postupy, stávající zařízení, pomůcky a měřidla, které jsou k dispozici na jednotlivých pracovištích. Je bezesporu jisté, že lze použít i jiných metod a pomůcek než byly předepsány, nicméně při řešení metodiky měření bylo vycházeno z použití co možná

nejlepších, nejpresnějších měřidel a především pomůcek, které jsou ve firmě Pramet Tools k dispozici.

Pro měření řezného průměru D u prototypových fréz (kapitola 6.1.1.1) bylo zvoleno zařízení BMD465v (obr. 6.2), které pracuje na principu optického měření a je přímo spojeno s pracovní stanicí PC s ovládacím softwarem BMD TOOLS V2.0. Tento software okamžitě zobrazuje a vyhodnocuje naměřené hodnoty s přesností 0,001 milimetrů. Nedílnou součástí přístroje je rovněž pneumatický upínací mechanismus pro přesné upnutí měřeného nástroje. Ovládání celého pracoviště je intuitivní a jednoduché.

Pro měření výšky fréz L u prototypů (kapitola 6.1.1.2) bylo doporučeno provádět toto měření na přesném měřicím zařízení - výškoměru DIGIMAR CX1/DX1 (obr. 6.3). Na tomto zařízení lze provádět celou škálu délkových měření. Je však nezbytné provést před vlastním měřením kalibraci přístroje tzn. nastavit výchozí rozměr s pomocí koncových měrek. Přístroj vyniká svou vysokou přesností danou konstrukcí a komfortem ovládání. Vyhodnocovací jednotka DX1 nabízí celou škálu režimu měření. Ovládání je opět intuitivní, jednoduché, přesné.

Pro měření velikosti upínacího otvoru d_1 u prototypů fréz (kapitola 6.1.1.3) bylo doporučeno provádět měření s pomocí přesného tří-dotekového dutinoměru firmy HOLTEST MITUTOYO (obr. 6.4). Toto měřidlo je standardní analogové, odečítání naměřené hodnoty se provádí na stupnici mikrometrického šroubu. Měřidlo je charakteristické svými třemi doteky vzájemně pootočenými o 120° . Měřidlo, doteky se vloží do měřeného otvoru tak, aby se doteky dotýkali plochy otvoru, otáčením mikrometrického šroubu, řehtačky dojde k vystředění dutinoměru v otvoru a je možno odečíst naměřenou hodnotu. Měření velikosti otvoru d_1 je touto metodou vyhovující. Měření touto metodou je rychlé, jednoduché a přesné.

Pro měření velikost dotahu a u fréz a VBD (kapitola 6.1.1.4) byly použity spárové kalibrační měrky (obr. 6.5). Z hlediska charakteru se zde jedná o porovnávací způsob měření. Spárové měrky se přikládají mezi stěnu VBD a lůžko destičky ve fríze. Měřením se zjišťuje, zda existuje nějaká spára v tomto měřeném uzlu. Měření je orientační, subjektivní. V současné době je však řešena v Prametu zcela nová metodika měření dotahu, a to pomocí přesných válečkových etalonů.

Ty jsou charakteristické tím, že jsou svým tvarem a velikostí blízké té konkrétní VBD. Výroba kalibrů je však velice nákladná.

Pro měření tvrdosti tělesa frézy (kapitola 6.1.1.5) byl použit stolní přístroj na měření tvrdosti typ ROCKWELL RB1 (obr. 6.6). Měřená fréza byla vložena a ustavena na otočný stůl; manipulací a dotažením šroubového převodu dotyku došlo k aretaci a stoj byl uveden do chodu stlačením páky. Na zobrazovacím kotouči byla odečtena hodnota tvrdosti v jednotkách HRC. Měření tvrdosti je prováděno standardně u všech nástrojů. Je zjišťována konkrétní hodnota tvrdosti a porovnávána s předepsanou hodnotou na výrobním výkrese. Doporučuje se provádět „vpichy“ na třech místech tělesa frézy. Měření je přesné, ovládání přístroje jednoduché, intuitivní.

Je zřejmé, že mohou být v rámci kontroly a měření prototypů frézovacích nástrojů měřeny i další parametry a rozměry. Nicméně výše uvedených 5 parametrů můžeme považovat za minimum pro získání údajů o kvalitě a přesnosti vyrobeného nástroje. V případě zjištění jakékoliv odchylky u naměřených rozměrů v porovnání s výkresovou dokumentací je nezbytné tyto odchylky analyzovat, měření opakovat a v případě potřeby navrhnout další měření v daném uzlu.

Měření samotných VBD (kapitola 6.1.2) a jejich základních rozměrů zahrnuje měření velikost vepsané kružnice d , výšku destičky s (případně s_1) a parametr destičky m . Tyto 3 základní parametry jsou nejdůležitější pro ověření VBD z hlediska svých

rozměrových vlastností co do přesnosti. Pro měření jednotlivých rozměrů byly navrženy postupy, pomůcky a měřidla, které jsou k dispozici na v Prametě.

Pro měření velikosti vepsané kružnice d u VBD (kapitola 6.1.2.1) byl použit měřicí přístroj SYLVAC 80 (obr. 6.8) se zobrazovací jednotkou D80, s bodovým snímačem, dotekem pro vkládání měřených destiček (obr. 6.9) a počítačovou stanicí pro ukládání naměřených hodnot. Pro získání požadované hodnoty vepsané kružnice d je nutné proměřit dvě na sobě kolmé strany (pracovně indexované jako strana „x“ a strana „y“) u měřené destičky. Obě hodnoty musí být v rozsahu povolených tolerancí jmenovitého rozměru u vepsané kružnice dle výkresu destičky. Vlastnímu měření vždy předcházelo nastavení jmenovitého rozměru s pomocí koncových měrek. Měřená VBD byla vždy vložena mezi dotek a základní opěrnou desku měřicího přípravku; na displeji zobrazovací jednotky D80 se odečetla naměřená hodnota. Měření, respektive získávání naměřených hodnot bylo přesné, naměřené hodnoty vypovídající, ovládání přístroje a záznam hodnot jednoduchý, rychlý a efektivní i pro větší dávky měřených VBD.

Pro měření výšky destičky s (kapitola 6.1.2.2), případně i výšky s_1 byl opět použit měřicí přístroj SYLVAC 80 se zobrazovací jednotkou D80, a sada koncových měrek pro nastavení jmenovitého rozměru. Pro získání požadovaných hodnot měření byly opět vzorky VBD vkládány mezi dotek a základní opěrnou desku měřicího přípravku; na displeji zobrazovací jednotky D80 se odečetla naměřená hodnota výšky s , případně s_1 u destiček s hladícím břitkem. Měření bylo rychlé, přesné, efektivní. Naměřené hodnoty byly ukládány do *.xls souboru v počítačové stanici.

Pro měření parametru m' u VBD (kapitola 6.1.2.3) byla použita přesná sinusová deska, prizma, výškoměr DIGIMAR CX1/DX1 (obr. 6.10), válečkový kalibr daného průměru a sada koncových měrek. Po nastavení příslušného úhlu dle výrobního výkresu VBD a jmenovitého rozměru vepsané kružnice, bylo zahájeno vlastní měření parametru m' . Měřené vzorky VBD byly vkládány na opěrnou plochu prizma a po najetí doteku výškoměru byl odečtena na zobrazovací jednotce DX1 naměřená hodnota (obr. 6.11). Měření tímto způsobem bylo jednoduché, rychlé a efektivní. Následně, po měření bylo s pomocí speciálního programu firmy SECO proveden výpočet korekčního součinitele k_m parametru m' . Vypočítaná hodnota k_m byla následně odečtena od naměřené hodnoty m' .

Pro měření šířky čelní fazetky t u VBD (kapitola 6.1.2.4) byl použit dílenský mikroskop DC se zobrazovací jednotkou AEII (obr. 5.10). Měřené vzorky VBD byly umísťovány na přípravek stolu mikroskopu a s pomocí optiky a nitkového kříže v okuláru mikroskopu byl vždy nastaven krajní bod plochy ostří. Po vynulování počítadla zobrazovací jednotky bylo zahájeno měření; otáčením šroubů posuvu stolu na konec ostří, byla odměřena hodnota šířky fazetky t . Naměřená hodnota, byla následně zaznamenána. Měření tímto způsobem bylo jednoduché, rychlé a efektivní.

Pro měření zaoblení řezné hrany R_e (kapitola 6.1.2.5) byl použit měřicí přístroj MAHR Perthometer PCV (obr. 5.12). Vlastnímu měření předcházelo nastavení polohy a velikosti dráhy snímání s pomocí ovládacího software v pracovní stanici PC. Každá měřená VBD byla ustavena do upínacího přípravku (obr. 5.13) a po stisknutí příslušného tlačítka na klávesnici PC bylo zahájeno a následně i provedeno měření zaoblení řezné hrany. Znázorněný profil řezné hrany byl analyzován a výsledky měření byly zaznamenány. Měření na přístroji MAHR Perthometer PCV bylo velice rychlé, efektivní a snadné.

Je zřejmé, že mohou být v rámci kontroly a měření vzorků VBD měřeny i další parametry a rozměry. Nicméně výše uvedených 3 až 5 parametrů můžeme považovat za dostačující pro získání údajů o kvalitě a přesnosti vyrobených vzorků destiček. V případě zjištění jakékoliv odchylky u naměřených rozměrů v porovnání s výkresovou dokumentací je nezbytné tyto odchylky opět analyzovat, měření opakovat a v případě potřeby navrhnout další dodatečná měření v daném uzlu.

ad g) otestovat a odzkoušet prototypy nástrojů na zkušebně Pramet a u vybraných zákazníků

Pro prvotní ověření funkčnosti vyrobených prototypových fréz byly provedeny funkční zkoušky obrábění (kapitola 6.2) na zkušebně obrábění Pramet (kapitola 6.2.1) na oceli jakosti 12 050.1 (kapitola 6.2.1.1) a korozivzdorné oceli jakosti 17 349.4 (kapitola 6.2.1.2) při daných řezných podmínkách. Funkční zkoušky byly provedeny na NC stolové frézce FCV 63 SCA (kapitola 5.2.1.1). Důraz byl kladen na funkční parametry nástroje z hlediska:

- utváření třísky v místě řezu (kapitola 5.2.1.3, 6.2.1.1.1, 6.2.1.2.1),
- trajektorie odchodu třísky místa řezu (kapitola 5.2.1.4, 6.2.1.1.2, 6.2.1.2.2),
- charakteristiky třísek (kapitola 5.2.1.5, 6.2.1.1.3, 6.2.1.2.3),
- vlastnosti nástroje v řezu (kapitola 5.2.1.6, 6.2.1.1.4, 6.2.1.2.4),
- otěr nástroje (kapitola 5.2.1.7, 6.2.1.1.5, 6.2.1.2.5),
- rozsahu posuvů na zub f_z (kapitola 5.2.1.8, 6.2.1.1.6, 6.2.1.2.6),
- axiální hloubky řezu $a_{p \max}$ (kapitola 5.2.1.9, 6.2.1.1.7, 6.2.1.2.7).

Po zkouškách obrábění na zkušebně, následovaly a byly provedeny funkční zkoušky obrábění u vybraných zákazníků (kapitola 6.2.2) s jedním cílem, tj. ověřit funkčnost nástrojů (fréz a VBD) v reálných podmínkách u zákazníků. Toto bylo provedeno ve dvou firmách, jmenovitě ve firmě Vítkovice Testing Center, s.r.o. Ostrava (kapitola 6.2.2.1) a ve firmě ŽDAS, a.s. Žďár nad Sázavou (kapitola 6.2.2.2).

Druhý blok zkoušek obrábění na zkušebně Pramet byl zaměřen na řezné vlastnosti fréz a VBD (kapitola 6.3). Zde byl nejvíce kladen důraz na parametry týkající se trvanlivosti nástroje T a řezivosti K (kapitola 6.3.1.1). Řezné zkoušky byly provedeny na oceli jakosti 12 050.9 (kapitola 6.3.1.1.1) a korozivzdorné oceli jakosti 17 349.4 (kapitola 6.3.1.1.2). Měření velikosti řezných sil při frézování F_v , F_t , F_z , F_n , při různých axiálních hloubkách řez a_p (kapitola 6.3.1.2) bylo provedeno pouze na oceli jakosti 12 050.1. Z dosažených hodnot řezných sil byly následně vypočítány požadované příkony stroje P (kapitola 6.3.1.3). Pro výpočet odebraného objemu materiálu Q a Q_c (kapitola 6.3.1.4) pro jednotlivé geometrie a typy VBD byly použity výsledky ze zkoušek obrábění na trvanlivost T a dále parametry funkčních zkoušek obrábění a to jak na oceli jakosti 12 050, tak i na korozivzdorné oceli 17 349. Drsnost obrobené plochy R_a , (kapitola 6.3.1.5) jako jeden z řezných vlastností fréz řady F60SN17X a VBD typu SNMR 1706DZSR-M a SNMR 1706DZSR-R, byla prověřena na oceli jakosti 12 050.1 (kapitola 6.3.1.5.1) a následně na korozivzdorné oceli 17 349.4 (kapitola 6.3.1.5.2). Pro ověření vlastnosti hladicí destičky typu SNKR 1706DZSR byly provedeny zkoušky na drsnost obrobené plochy na oceli 12 050.1 (kapitola 6.3.1.5.3) a korozivzdorné oceli jakosti 17 349 (kapitola 6.3.1.5.4). Souhrnně, byly výše uvedené řezné vlastnosti námi navrhovaného řešení fréz řady F60SN174X porovnány a provedeno vůči stávajícímu typu fréz určených k inovaci, tj. fréz řady W75SP15D.

Po zkouškách obrábění na zkušebně, následovaly opět zkoušky obrábění u vybraných zákazníků s cílem ověřit řezné vlastnosti prototypových nástrojů (fréz a VBD) řady F60SN17X, v reálných podmínkách u zákazníků. Zkoušky byly provedeny ve dvou firmách, jmenovitě ve firmě Škoda Power, Plzeň (kapitola 6.3.2.1) a ve firmě Klima, Prachovice (kapitola 6.3.2.2).

ad h) provést vyhodnocení prototypových zkoušek a analyzovat dosažené výsledky

Můžeme konstatovat, že z hlediska funkčních vlastností nástroje jako celku, je nástroj – frézy řady F60SN17X (jmenovitě frézy průměru $D = 160$ mm, označení 160C10R-F60SN17X-1, -2, -3) provozoschopné, vyhovující a nástroje umí pracovat v režimu a podmínkách, pro které byl určen (kapitola 6.2.3, 6.3.3).

Obě navržené geometrie destiček SNMR 1706DZSR-M a SNMR 1706DZSR-R pracují spolehlivě, dobře utvářejí třísku, tvar a velikost třísky je optimální v závislosti na volených řezných podmínkách, odvod třísky z místa řezu je zcela bez obtíží. Hladicí elementy břitů (vedlejší ostří) dávají obrobenému povrchu velice dobré hodnoty z hlediska výsledné drsnosti obrobené plochy Ra , jmenovitě v rozsahu od $Ra 1,6$ do $Ra 3,2$ na oceli, a v rozsahu $Ra 0,46$ až $Ra 2,7$ na korozivzdorné oceli, v závislosti na řezných podmínkách. Poměr řezných sil v návaznosti na požadovaný příkon stroje P odpovídá charakteru nástroje a celkové geometrii nástroje. Hodnoty odebraného objemu materiálu Q a Q_c jsou plně vyhovující. Rozsah použití z hlediska hodnot axiálních hloubek řezu a_p a posuvů na zub f_z je díky obou geometriím široký a dává zákazníkům možnost volby. Doplnující hladicí geometrie na destičkách SNKR 1706DZSR nabízí dosahovat na obrobcích velice dobré hodnoty z hlediska drsnosti obrobeného povrchu (na oceli v rozsahu $Ra 0,8$ až $Ra 2,6$, na korozivzdorné oceli $Ra 0,27$ až $Ra 0,54$).

Z hlediska dosahovaných hodnot trvanlivostí břitu T (řezivosti K) v řezu na oceli 12 050, jsou navrhované geometrie na destičkách SNMR 1706DZSR-M a SNMR 1706DZSR-R konkurenceschopné vůči stávajícím geometriím SPKN 1504EDSR a SPKR 1504EDSR. Ne už však při obrábění korozivzdorných ocelí jakosti 17 349. Výsledky řezných zkoušek trvanlivosti T a řezivosti K dopadly ku prospěchu geometrii SPKR 1504EDSR, které je velmi pozitivní a ostrá, což je hlavním předpokladem pro úspěšné obrobení materiálů skupiny M dle ISO 513. Konkurencí geometrie SPKR 15 byla pouze geometrie SNMR 1706DZSR-R, která díky parametrům šířky fazetky a tedy pevnějšího břitu obstála při obrábění korozivzdorné oceli jakosti 17 349.

Provozní zkoušky u zákazníků ať už v rámci funkčních zkoušek obrábění (kapitola 6.2.3), či řezných vlastností (kapitola 6.3.3) dopadli dobře. Zákazníci byly až na výjimku (firma Žďas a konkurenční kruhové destičky RD 20) jinak velice spokojeni. Prototypové nástroje pracovaly bez obtíží, frézy, potažmo VBD dobře utvářeli třísku, dobře ji odváděli z místa řezu, očekávaná jakost povrchu obrobku byla splněna, rámcově byly požadované parametry obrábění splněny.

ad i) navrhnout znění směrnice, jako metodiky testování prototypových frézovacích nástrojů pro oblast těžkého hrubování

Znění směrnice, návrh, metodiky testování prototypových frézovacích nástrojů pro oblast těžkého hrubování byla zpracována (kapitola 7, Příloha č. 11). Metodika popisuje jednotlivé kroky při analýze vyrobených prototypových nástrojů a jejich VBD. Předepisuje postup, pomůcky, zařízení pro vlastní kontrolu a měření, testování atd.

9 Závěr

Disertační práce se zabývá zavedení systému testování nástrojů pro oblast třískového obrábění kovů. Konkrétně se jedná o prototypy frézovacích nástrojů (fréz) určených pro oblast hrubování. Celá práce je pojata jako návod – metodika, jak postupovat při analýze vyrobených prototypů z hlediska způsobu měření a následně jejich odzkoušení a otestování. Logicky je disertační práce rozdělena do dvou hlavních částí, a to do teoretické a experimentální.

Aby bylo možno hovořit o prototypech nástrojů a následné metodiky jejich testování, je nejprve nutné tyto prototypy vytvořit. Tvorba a konstrukce prototypů je prováděna na základě vstupních požadavků a dat, a je formulována v zadání. V úvodních kapitolách je tento proces představen na konkrétní situaci na základě požadavku na inovaci části sortimentu nástrojů pro oblast hrubování společnosti Pramet Tools, s.r.o. Po analýze stavu a parametrů stávajících nástrojů bylo sestaveno zadání (cíle disertační práce), a dále rozpracovány a připraveny konstrukční návrhy řešení nového typu nástroje. Z konstrukčních návrhů bylo vybráno nejoptimálnější přípustné řešení. Toto řešení bylo následně vyrobeno v podobě prototypových nástrojů. Vzhledem k tomu, že se jedná o standardní konstrukci nástroje, který je charakteristický dělenými komponenty – těleso nástroje je z oceli, funkční řezné části jsou řešeny jako vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu opatřené krycím povlakem, v našem případě povlakem na bázi PVD, bylo v rámci konstrukčních návrhových řešení rozpracováno i řešení samotných vyměnitelných břitových destiček, tak aby mohli být vyrobeny. Konstrukční práce se týkaly tvorby konstrukce výkresové výrobní dokumentace destiček a samotné výroby lisovacího nástroje v podobě razníků a matrice pro jejich výrobu. Dále již následovala samotná výroba těles fréz a výroba destiček v materiálech PRAMET. Výše uvedené práce a činnosti byly provedeny v součinnosti ostatních oddělení společnosti Pramet Tools, s.r.o. (oddělení konstrukce, výroba nástrojů, SBU obrábění – výroba VBD, Oddělení speciálů – výroba fréz).

Z analýzy současného stavu technické vybavenosti měřidly, mířícími prostředky, pomůckami a technickým zázemím měrového střediska a zkušebny obrábění Pramet jsem navrhnul sled činností a úkonů na provedení měření, kontroly, testování, s následným způsobem jejich vyhodnocení pro frézy a vyměnitelné břitové destičky. Metodicky jsem popsal jakým způsobem, postupem a s jakými prostředky provádět analýzu a kontrolu jednotlivých rozměrů.

Pro prověření základních parametrů u vyrobených prototypových fréz jsem navrhnul prověřit těchto 5 základních rozměrů:

- a) Řezný průměr frézy D ,
- b) Výšku frézy L ,
- c) Velikost upínacího otvoru d_1 ,
- d) Dotah a
- e) Tvrdost tělesa frézy v jednotkách HRC.

Pro pověření základních parametrů u vyrobených prototypových VBD jsem navrhnul prověřit těchto 5 základních parametrů:

- a) Velikost vepsané kružnice d ,
- b) Výšku destičky s ,
- c) Parametr m' ,
- d) Šířku fazetky t ,
- e) Zaoblení řezné hrany R_ϵ .

Výše uvedených 5 parametrů u fréz a 5 parametrů u VBD považuji za dostačující pro ověření shody skutečných rozměrů s předepsanými rozměry ve výkresové výrobní dokumentaci v návaznosti na zachování funkčních vlastností tak, aby bylo možno bez rizika frézu a příslušné typy destiček otestovat v procesu obrábění. Při definování měřených parametrů jsem vycházel ze skutečnosti, které parametry by mohli a mohou vážným způsobem ovlivnit chod nástroje v řezu a ovlivnit tak skutečné hodnoty a vlastnosti nástroje jako celku.

Při definování jednotlivých použitých měřidel a pomůcek pro kontrolu daných rozměrů jsem vycházel ze zkušeností, která měřidla jsou vhodná, přesná, na ovládání jednoduchá a nenáročná pro obsluhu s ohledem na složitost posuzovaného nástroje (frézy) a složitost posuzovaných VBD. Vzhledem k tomu, že se jedná o nástroje pro hrubovací operace, na které jsou kladeny především požadavky na funkčnost a spolehlivost nástroje jako celku, včetně jednotlivých komponent, použil jsem měřidla a měřicí pomůcky tomu odpovídající.

Pro měření parametrů fréz, resp. pro měření řezného průměru u fréz D to bylo měřidlo – pracoviště – na bázi optiky, zařízení BMD465v, pro měření výšek fréz L , jsem použil měřidlo porovnávací – pracoviště, se zařízením DIGIMAR CX1/DX1, pro měření vnitřního upínacího otvoru d_1 jsem použil konvenční analogové měřidlo, dutinoměr HOLTEST firmy Mitutoyo, dotah a byl prověřen porovnávacím měřidlem, respektive spárovými měrkami přesných rozměrů, tvrdost tělesa fréz byla proměřena na stolním tvrdoměru typ RB1. Všechna měřidla na daných pracovištích považuji za plně dostačující, naměřené hodnoty za korektní.

Pro měření parametrů VBD jsem použil opět porovnávací mechanická měřidla. Vepsanou kružnici d_1 jsem měřil na pracovišti se zařízením SYLVAC 80, které umožňuje velmi přesné měření, a proto jsem toto pracoviště využil i při měření parametru výšky destiček s , parametr destiček m' nelze přímo změřit a bylo nutné provést měření nepřímé. K tomuto účelu jsem využil pracoviště DIGIMAR CX1/DX1 s přípravkem v podobě přesné sinusové desky MITUTOYO 930-628 s možností nastavení ve dvou osách, dále s prizmatem a válečkovým kalibrem. Pro měření šířky fazetky t , vzhledem k jejich rozměrovým parametrům bylo měřeno s pomocí optiky, dílenského mikroskopu DC1 s převodníkem na numerické hodnoty AEI1. Posledním měřeným parametrem bylo zaoblení řezné hrany R_e , které lze měřit pouze na velice přesném měřicím zařízení MAHR Perthometer PCV vzhledem k tomu, že se jedná o parametry a rozměry v řádech mikrometrů. Zaoblení řezné hrany (ostří), nelze jiným způsobem měřit než uváděným způsobem.

Je patrné, že měřidla, zařízení, měřicí přístroje, přípravky a pomůcky, které byla pro měření a vyhodnocení všech měřených parametrů použita, nemohou být přítomna i v jiných institucích, firmách, laboratořích a výzkumných centrech. Metodika měření a použitá měřidla mají v tomto ohledu za cíl ukázat způsob a proveditelnost měření na konkrétních pomůckách, kterými společnost Pramet Tools disponuje. Věřím, že pomohou při obdobných či podobných měřeních odborníkům a pracovníkům zainteresovaných v této oblasti obrábění.

Po provedených analýzách a měřeních rozměrových vlastností jsem zahájil testování nástrojů na zkušebně obrábění Pramet v rozsahu příslušných statí disertační práce. Základní funkční zkoušky obrábění s prototypy fréza a destiček byly provedeny ve spolupráci s vedoucím zkušebny a operátorem stroje (NC frézky FCV 63 SCA). Prototypové frézy byly podrobeny testům, nástroj uspěl a byl následně ve spolupráci s oddělením tuzemského obchodu i otestován u vybraných zákazníků.

Po provedených funkčních zkouškách obrábění, byl proveden na zkušebně obrábění Pramet druhý blok zkoušek obrábění. Ty byly zaměřeny na vlastnosti nástroje v oblasti řezivosti, tedy především po stránce otestování trvanlivosti T (řezivosti K) ostří u VBD v porovnání s nástroji, které budou v budoucnu vyjmuty z výrokové řady nástrojů, dále dosahovaných hodnot řezných sil při použití různých axiálních hloubek řez a_p , požadovaných hodnot příkonu stroje P , odebraného objemu materiálu Q (Q_c) a dosahovaných kvalitativních parametrů drsnosti obrobené plochy Ra jak při použití standardních VBD, tak s použitím hladící geometrie. Obdobně jako v případě funkčních zkoušek obrábění, byly i po stránce řezivosti nástroje nasazeny u vybraných zákazníků k ověření dosahovaných vlastností ze zkušebny obrábění. Všechny provedené řezné zkoušky potvrdily, že nástroje, jejich konstrukce je v pořádku, nástroje jsou kvalitní, spolehlivé a jsou připraveny pro praxi.

9.1 Přínos pro vědu

Oborově, se práce zaměřuje na oblast a problematiku třískového obrábění kovů, konkrétně na frézovací nástroje pro rovinné frézování se zaměřením na obrábění dvou základních materiálových skupin podle ISO 513, tj. skupiny P (oceli) a skupiny M (korozi-vzdorné oceli).

Práce přispívá k rozšíření teoretických poznatků v oboru ohledně inovačního procesu nástrojů pro třískové obrábění. Analýza stavu z hlediska současného sortimentu nástrojů pro danou aplikační oblast obrábění. Vizualizace designových návrhů vycházející ze zkušeností, softwarových prostředků a materiálního vybavení. Výroba VBD a prototypů fréz v reálných podmínkách procesu výroby.

Analýza jednotlivých parametrů a rozměrů u frézovacích nástrojů a VBD s použitím moderních měřicích zařízení a přístrojů s vysokou přesností měření (výškoměr DIGIMAR CX1/DX1, přístroj pro měření profilů povrchu MAHR Perthometr PCV, zařízení pro měření délek SYLVAC 80 apod.).

Navrhovaná metodika testování prototypů frézovacích nástrojů pro hrubování byla ověřena na konkrétních nástrojích a splnila očekávání ohledně obsahu získaných dat, údajů a parametrů.

9.2 Přínos pro praxi

Disertační práce má sloužit jako praktické vodítko v oblasti a problematice třískového obrábění kovů s vícebřitými nástroji od tvorby a způsobu designových návrhů, realizaci a testování prototypů nástrojů. Zacílená oblast obrábění (hrubování) je charakteristická specifickými požadavky na nástroj, jeho vlastnosti a schopnosti. Nástroje pro tuto oblast musí být spolehlivé, dlouhodobě provozuschopné a musí zajišťovat stálost svých řezných vlastností, odolávat vysokým teplotám a tlakům během celého procesu obrábění.

Okamžitý přínos práce pro praxi je zde patrný. Pohled na problematiku inovace nástrojů pro třískové obrábění, názorný postup tvorby prototypu nástroje, jeho rozměrovou analýzu - kontrolu a měření, laboratorní testy na zkušebně, zkoušky a testy v praxi u vybraných zákazníků, uzavírá metodický postup komplexní analýzy nástroje pro oblast hrubování.

Práce je tedy svým obsahem zaměřena na praxi a odbornou veřejnost z řad výzkumných pracovníků, techniků výzkumných center, zkušeben a institutů, řešící problematiku inovace nástrojů pro kovoobrábění, jejich následným měřením a testováním.

Conclusion

Dissertation thesis deals about implementation of testing system of tools for machining. Specifically, the prototypes of milling cutters for roughing area. Thesis is conceived as a guide - methodology, how to proceed by analysis of produced prototypes in term soft the measurement method and followed their tried and testing. Logically the dissertation thesis is divided into two main parts, theoretical and experimental.

In order to talk about prototypes of tools and subsequent testing methodology, it is first necessary to create these prototypes. Design of prototypes is performed according to the input demands and data, and is formulated in the task. In the opening chapters of this process is presented in concrete situation based on the request to innovate the part of assortment of tools for roughing area of Pramet Tools Company Ltd. After analyzing the status and parameters of the current tools were compiled task (targets of the dissertation thesis), and further elaborated and prepared designs for solution of new type of tools. From the design were chosen the most optimal allowable solution. This solution was followed produced in the form of prototype tools. Because that it is a standard design tools, which is a characteristic split components - a tool body is from steel, the function of cutting part are designed as indexable inserts from cemented carbide provided with cover coating, in our case based on PVD coating, was within the design solutions elaborated solutions themselves and inserts so that they could be made. Design works concerning the creation of design drawings production documentation of indexable inserts and press tool punches and dies for their production. Next followed the production of the cutter bodies and indexable inserts in materials from company PRAMET. The above work and activities were performed in cooperation with other departments in Pramet Tools Company Ltd. (design department, production of tool, SBU machining - production of indexable inserts, special department - production of milling cutters).

From the analysis of the current state of technical equipment on measuring instruments, measuring devices, tools and technical backgrounds of quality department and testing center in Pramet Company, i suggested a sequence of activities and operations on the measurement, inspection, testing, with subsequent their evaluation method for milling cutters and indexace inserts.

Methodically I have described how the procedure such as resources to analyze and check the various dimensions.

For the verify of the basic parameters on produced prototype of cutters I suggested to check these 5 basic dimensions:

- f) Cutting diameter of mills D ,
- g) Height of mills L ,
- h) Size of clamping hole d_1 ,
- i) Tight a
- j) Cutter body hardness in HRC value.

For the verify of the basic parameters on produced prototype of indexable inserts I suggested to check these 5 basic parameters:

- f) Size of the inscribed circle d ,
- g) Height of inserts s ,
- h) Parameter m' ,
- i) Width of facet t ,
- j) Rounding of cutting edge R_e .

The above 5 parameters by cutters and 5 parameters by indexable inserts i considered adequate for verifying the conformity of the actual dimensions with the prescribed dimensions from drawing production documentation in relation to the preservation of functional properties in order to be used milling cutters and the corresponding types of inserts without risk to test in the machining process. In defining the measurement parameters i based on the fact that the parameters could and can seriously affect the operation in cut and affect the actual values and characteristics of the tool as a whole.

In defining the various of measuring instruments and equipment for checking the dimensions i came out of the experiences, which measuring instruments are useful, accurate, simple to operate and easy to operate with regard to the complexity of the investigation tools (cutters) and complexity assessed of indexable inserts. Given that this is a tool for roughing operations, which are subject to particular requirements for functionality and reliability of the entire instrument, including individual components, I used measuring instruments and measuring devices their corresponding.

For measuring of parameters on cutter, ie. measuring of cutting diameter by cutter D were used measurement instrument - workplace - based optics, device BMD465v, for measurement of heights of cutters L i used a comparative measuring instrument - workplace with device DIGIMAR CX1/DX1, for measurement of size of clamping hole d_1 i used conventional analog measurement instrument, Mitutoyo Micrometer HOLTEST, tight a has been assessed by comparative measurement instrument, ie. feeler blocks of the accurate dimensions, hardness of cutter body was measured on a desktop hardness tester RB1. All measurement instrument on the given workplaces i consider it a fully satisfactory and measured values as a correct.

For measuring of parameters on indexable inserts i used again comparative mechanical measuring instruments. Inscribed circle d_1 i measured in the workplace with SYLVAC 80 devices, which allows very precise measurements, so i took advantage of this facility by measuring of the height of inserts s , but inserts parameters m' can not be measured directly and it was necessary to measured with indirect method. For this purpose i used the workplace DIGIMAR CX1/DX1 with the preparation in the form of precise sinusoidal MITUTOYO 930-628 plate adjustable in two axes, then the prism of a roller caliber. For measuring of width of facet t , due to their dimensional parameters were measured with optics microscope DC1 with the numerical converter value AEI1. The last measured parameter was rounding of cutting edge R_e , which can be measured only at very precise measuring equipment MAHR Perthometer PCV whereas that they are parameters and dimensions of the order of micrometers. The rounding of the cutting edge R_e can not be measured by other way than the claimed method.

It is evident that the measuring instruments, equipment, jigs and tools that have been measurement and evaluation of all measured parameters used, can not be present in other institutions, companies, laboratories and research centers. Methods of measurement and measuring instruments used in this regards aims to show of way and feasibility measurement on specific aids, which the company Pramet Tools have. I believe that by analogous or similar measurements help this work to experts and workers interested in the machining.

After the prepared analyzes and measurement of dimensional properties i started to test of tool on testing room Pramet in a range of relevant articles dissertation thesis. Basic functional testing - machining of prototypes cutter and indexable inserts were made in collaboration with the head of testing and the machine operator (NC milling machine FCV 63 SCA). Prototype milling cutters have been tested, the tool has been succeed and in cooperation with the department of domestic trade have been tested by selected customers.

After performed functional tests of machining, were performed on testing room Pramet second block of machining tests. They were focused on properties in the area of cutting tools, mainly after the durability test T (cutting ability K) on edge of inserts in comparison with tools that will be removed from product line in future, as well as cutting forces achieved using different axial depths of cut a_p , require values of input power P , removed material volume Q (Q_c) and the achieved quality of the machined surface roughness parameters Ra as using standard inserts and using smoothing geometry inserts. Similarly as in the case of functional testing of tools, were also in terms of cutting ability deployed at selected customers for verification of cutting tools properties compared to laboratory tests. All performed cutting tests confirmed that the tools, their construction is fine, tools are high quality, reliable and ready for practice using.

Contribution to Science

Professionally, the thesis focuses on the issues of machining of metals, namely milling cutters for face milling machining with a focus on two main groups of materials according to ISO 513, ie. Groups P (steel) and group M (stainless steel). The work contributes to the extension of theoretical knowledge in field of study the innovative process tools for machining. Analysis of the status in terms of the current assortment of tools for given machining application. Visualization of design proposals based on experiences, software means and facilities. Production of prototypes inserts and cutters in real conditions the production process.

Analysis of the individual parameters and dimensions for milling cutters and inserts using modern measuring equipment and devices with high accuracy (DIGIMAR CX1/ DX1, instrument for measuring surface profiles MAHR Perthometr PCV, a device for measuring lengths SYLVAC 80, etc.).

The proposed methodology of testing of prototypes milling cutters for roughness operations been validated on specific tools and to meet the expectations regarding the content of the acquired data, information and parameters.

Contribution to Practice

Dissertation thesis is intended as a practical guidance on the issues of machining of metals with milling tools from creation and method of design, to implementation and testing prototypes of tools. Targeted machining area (roughing) is characterized by specific demands on the tool, its properties and capabilities. Tools for this area must be reliable, long-term operational stability and must ensure its cutting properties, resist high temperatures and pressures during the whole machining process.

Immediate benefits of thesis to practice is evident. The view on the issue of innovation tools for machining, illustrative process of design of tools, the dimensional analysis - control and measurement, laboratory tests on testroom and practical tests at selected customers, concluded methodical procedure of complex analysis tools for roughing area.

The thesis is focused their content on practice and professional community from among researchers, technicians, research centers, testing laboratories and institutes dealing with issues of innovation tools for metalworking, their subsequent measurement and testing.

10 Použitá literatura

- [1] Jamil, N., Yusoff, A.R., Mansor, M.H. *Experimental study of the static modal analysis on milling machine tool* (2014) Advanced Materials Research, 903, pp. 123-128. University Malaysia Pahang, 26600 Pekan, Pahang, Malaysia
- [2] Ersoyoğlu, A.S., Ünüvar, A. *Tool selection for machining of free form surfaces* (2013) Applied Mechanics and Materials, 390, pp. 581-585. Selçuk University, Department of Mechanical Engineering, 42031, Konya, Turkey
- [3] Wang, H., Qin, X., Ren, C., Wang, Q. *Prediction of cutting forces in helical milling proces* (2012) International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 58 (9-12), pp. 849-859. Cited 14 times. School of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China
- [4] Reibenschuh, M., Zuperl, U., Cus, F. *Developing and implementing a new visual monitoring system for machining* (2012) 23rd DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation 2012, 1, pp. 273-276.
- [5] Cuš, F., Župerl, U. *Real-time cutting tool condition monitoring in milling* (2011) Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering, 57 (2), pp. 142-150. Cited 11 times. University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Smetanova 17, 2000 Maribor, Slovenia
- [6] Astakhov, V.P. *Cutting Tool Sustainability* (2013) Sustainable Manufacturing, pp. 33-77. Department of Mechanical Engineering, Michigan State University, East Lansing, MI, United States
- [7] Li, W., Guo, Y.B., Barkey, M.E. *Tool wear influence on surface integrity and fatigue life of hard milled surfaces* (2011) American Society of Mechanical Engineers, Tribology Division, TRIB, pp. 75-77.
- [8] Cui, Y., Wang, G., Peng, D. *Tool wear monitoring in milling processes based on cointegration modeling* (2010) Applied Mechanics and Materials, 34-35, pp. 1746-1751. Cited 2 times. School of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China
- [9] Totis, G., Wirtz, G., Sortino, M., Veselovac, D., Kuljanic, E., Klocke, F. *Development of a dynamometer for measuring individual cutting edge forces in face milling* (2010) Mechanical Systems and Signal Processing, 24 (6), pp. 1844-1857.
- [10] Fischer, C.E. *Some discussions of virtual testing of cutting tools* (2009) Proceedings of the ASME International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC2008, 1, pp. 351-358. Scientific Forming Technologies Corporation, Columbus, OH, United States
- [11] PRAMET. *Frézování: katalog 2009*. PRAMET TOOLS, s. r. o., 2009., 296 s.
- [12] MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION. *General catalog – Turning tools, Rotating tools, Tooling solution: katalog 2010-2011*. 1348 s.
- [13] KORLOY. *Řezné nástroje: katalog 2011.*, 820 s.
- [14] CERATIZIT. *Hard materials matters. Tools and inserts for milling: katalog 2007.*, 212 s.
- [15] ISCAR. *Iscarmill: katalog B, 2008.*, 563 s.
- [16] SECO TOOLS AB. *Katalog a technický průvodce - Frézování: katalog 2009*. 572 s.
- [17] VALOŠEK, F., *Manuál ocelí*. Ostrava: Dům techniky Ostrava, spol. s r.o., 1993.
- [18] BINDER, M., ŠÍMA, M. *Nový frézovací materiál s PVD povlakem*. [online]. [cit. 17. 04. 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/novy-frezovaci-material-s-pvd-povlakem>>.

- [19] Návod k obsluze pro vertikální seřizovací přístroje BMD 410v, 415v, 440v, 445v, 460v, 465v, vydal: BMD a.s., Modlanská 1, 415 01 Teplice.
- [20] Návod k obsluze č. 3754315, Výškoměr Digimar CX1/DX1, vydal: Mahr GmbH, Brauweg 38, D-37073, Göttingen, Německo.
- [21] Mitutoyo Katalog měřicích přístrojů 2005/2006, CZ-13001, vydal: Mitutoyo Česko s.r.o., Dubská 1626, 415 01 Teplice.
- [22] Návod pro obsluhu a údržbu, Tvrdoměr Rockwell RB1, vydala: Zbrojovka n.p. Vsetín, 1968.
- [23] Návod na obsluhu, Sylvac 80, Sylvac SA, Ch. du Closalet 16, Ch-1023 Crissier, překlad: Ing. Miroslav Horáček, programová verze 1.0, 1992.
- [24] Návod k použití - Velký dílenský mikroskop DC, vydal: Kombinat VEB Carl Zeiss JENA, Carl-Zeiss-Str.1, DDR-6900 Jena, 1986, Nr. 24-G676-1.
- [25] KOVOSVIT MAS. *MCV 1270 Power*. [online]. [cit. 28. 4. 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.kovosvit.cz/cz/mcv-1270/>>.
- [26] FCV 63 – manuál ke stroji [1995]
- [27] Návod k použití – měřicí zařízení EQUOTIP [1999]
- [28] Interní materiál společnosti SECO Tools, A.B. [1999]
- [29] KOCMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [30] FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [31] Z-PRECIS. [online]. [cit. 16. 6. 2011]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.zprecis.com>>.
- [32] STRAKOVÁ, M. *Rovinné frézování korozivzdorných ocelí*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 72 s. Diplomová práce, vedoucí: Čep, R. a Binder, M.
- [33] ČSN-ISO 8688-1: *Rezné nástroje. Testovanie trvanlivosti pri frézovaní. Časť 1: Rovinné frézovanie*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [34] Instruction Manual DynoWare Type 2825A-02. Kistler Instrumente AG, Eulachstrasse 22, Ch-8408 Winterthur, Switzerland, 69 s., 2825A_002-195e-03.06.
- [35] Operating- and service-instructions, Dreikomponenten-dynamometer, Type 9265A2. Kistler Instrumente AG, Eulachstrasse 22, Ch-8408 Winterthur, Switzerland, 24 s., 1984, B6.9265d.
- [36] TumliKOVO. [online]. [cit. 16. 6. 2011]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>
- [37] Instruction Manual Hommel Tester T500. Thyssen Hommelwerke GmbH, Alte Tuttlinger Str. 20, VS-Schwenningen, 78056, Germany. 7/95, ID024479,d/e/f.

11 Seznam příloh

- Příloha č. 1 Výkresová dokumentace fréz řady F60SN17X*
- Příloha č. 2 Výkresová dokumentace VBD - typ SNMR 1706DZSR-M*
- Příloha č. 3 Výkresová dokumentace VBD - typ SNMR 1706DZSR-R*
- Příloha č. 4 Výkresová dokumentace VBD - typ SNKR 1706DZSR*
- Příloha č. 5 Soubor naměřených hodnot VBD - typ SNMR 1706DZSR-M; 8230*
- Příloha č. 6 Soubor naměřených hodnot VBD - typ SNMR 1706DZSR-M; 8026T*
- Příloha č. 7 Soubor naměřených hodnot VBD - typ SNMR 1706DZSR-R; 8230*
- Příloha č. 8 Soubor naměřených hodnot VBD - typ SNMR 1706DZSR-R; 8026T*
- Příloha č. 9 Soubor naměřených hodnot VBD - typ SNKR 1706DZSR; 8026T*
- Příloha č. 10 Protokoly ze zkoušek obrábění u zákazníka
Vítkovice Testing Center Ostrava*
- Příloha č. 11 Návrh směrnice*